

Aus dem Institut
für Arbeits- und Sozialmedizin der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

DER EINFLUSS VON GEFÄSSDROSSELUNG
BEI KÄLTEPROVOKATION AUF DIE
WIEDERERWÄRMUNG DER FINGER

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von Uwe Morlang
aus Bad Wildungen

Mainz 1986



Aus dem Institut
für Arbeits- und Sozialmedizin der
Johannes Gutenberg-Universität Mainz

DER EINFLUSS VON GEFÄSSDROSSELUNG
BEI KÄLTEPROVOKATION AUF DIE
WIEDERERWÄRMUNG DER FINGER

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

dem Fachbereich Medizin vorgelegt

von Uwe Morlang
aus Bad Wildungen

Mainz 1986

Dekan : Prof. Dr. Michaelis
1. Gutachter : Prof. Dr. Dupuis
2. Gutachter : Prof. Dr. Konietzko

Tag der Promotion : 14.10.1986

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. EINLEITUNG	1
2. AUFGABENSTELLUNG	3
3. THEORETISCHER TEIL	4
3.1. Anatomische und physiologische Grundlagen	4
3.1.1. Gefäßversorgung der Hand	4
3.1.2. Thermorezeption und -regulation	7
3.1.3. Durchblutungsregulation	9
3.2. Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom (VVS)	12
3.2.1. Darstellung des Krankheitsbildes	12
3.2.2. Theorien zur Pathogenese des VVS	17
3.3. Thermographische Diagnoseverfahren	20
3.3.1. Infrarot-Thermographie	20
3.3.2. Flüssigkristall-Thermographie	23
3.3.3. Anwendung der Thermographie in der Medizin	26
4. EXPERIMENTELLER TEIL	29
4.1. Methodik	29
4.1.1. Infrarot-Thermographie	29
4.1.2. Kälteprovokation	31
4.2. Versuchsdurchführung	33
4.2.1. Laborversuche	33
4.2.2. Feldversuche	37
4.3. Auswertungsverfahren	39
4.3.1. Laborversuche	44
4.3.2. Feldversuche	46
4.3.2.1. Auswertungsprogramm für Feldversuche	51
4.3.2.2. Beschreibung des Untersuchungsprotokolls	60
4.4. Ergebnisse	63

4.4.1.	Laborversuche	63
4.4.2.	Feldversuche	69
5.	DISKUSSION	75
5.1.	Laborversuche	75
5.2.	Feldversuche	78
6.	ZUSAMMENFASSUNG	81
7.	Verzeichnis der Tabellen	82
8.	Verzeichnis der Abbildungen	83
9.	LITERATURVERZEICHNIS	85
10.	Anlagen	94

1. EINLEITUNG

=====

Obwohl in der Bundesrepublik Deutschland seit 1977 die "Vibrationsbedingten Durchblutungsstörungen der Hände", auch "Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom (VVS)" genannt, als Berufskrankheit Nr. 2104 anerkannt worden sind, liegen hierzulande noch keine ausreichenden Erfahrungen über dieses Krankheitsbild vor.

Insbesondere existieren im Bereich der objektiven Diagnoseverfahren noch keine standardisierten und allgemein anerkannte Methoden.

Dieser Tatsache wurde dadurch Rechnung getragen, daß die Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung eine Studie über den "Arbeitsmedizinischen Kenntnisstand zur Wirkung mechanischer Schwingungen auf das Hand-Arm-System" in Auftrag gab, in der erstmals eine Synopsis dieses Themas dargelegt wurde (DUPUIS, 1982).

Außerdem wurde vom Bundesministerium für Forschung und Technologie und dem Hauptverband der Gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V. ein Forschungsauftrag (Kennzeichen: 01 VD 0122) an die Arbeitsgruppe Ergonomie des Instituts für Arbeits- und Sozialmedizin der Johannes Gutenberg - Universität vergeben (Projektleiter: Prof. Dr. H. Dupuis), in dessen Rahmen einige Untersuchungen der vorliegenden Arbeit durchgeführt wurden.

Trotz wachsender Kenntnis über die Wirkungen von Vibrationen auf den menschlichen Organismus sind in der Bundesrepublik Deutschland noch weitere Bemühungen nötig, um im internationalen Vergleich, vor allem gegenüber Skandinavien, Japan und Kanada, bestehen zu können.

Besonderer Bedeutung für die Früherkennung und die objektive Diagnostik des VVS wird der Infrarot - Thermographie als indirekter, nicht invasiver Methode zur Bestimmung der peripheren Durchblutung beigemessen.

Dieses moderne Untersuchungsverfahren wird auch in der vorliegenden Arbeit eingesetzt.

2. A U F G A B E N S T E L L U N G

=====

In dieser Arbeit soll unter Anwendung des Untersuchungsverfahrens Infrarot-Thermographie die Hauttemperatur der Hände im Bereich der Fingerringglieder sowohl bei durch Gefäßdrosselung simulierten Durchblutungsstörungen, als auch bei Arbeitern im Rahmen von Feldversuchen untersucht werden.

Zu diesem Zweck sollen in Laborversuchen experimentelle Drosselungen des Blutstromes eines Fingers durchgeführt werden, um aus dem unterschiedlichen Verhalten der Wiedererwärmung nach einer Kälteprovokation eine Einteilung in verschiedene Erwärmungstypen zu erhalten.

Nach Auswertung dieser experimentellen Ergebnisse soll eine Möglichkeit der computergestützten Versuchsauswertung vorgeschlagen werden, die die Darstellung der Befunde in einem Untersuchungsprotokoll ermöglicht, wie es ähnlich bei klinischen Untersuchungen, z.B. Elektrokardiographie, Sonographie, etc. schon üblich ist.

Dadurch soll ein Beitrag zur objektiven Beurteilung und Dokumentation von Durchblutungsstörungen der Hände geleistet werden, der zur Diagnostik und Bewertung des VVS hilfreich sein kann.

3. THEORETISCHER TEIL

=====

3.1. Anatomische und physiologische Grundlagen

3.1.1. Gefäßversorgung der Hand

Die Blutversorgung des Unterarmes und der Hand erfolgt aus der Arteria brachialis, die sich im Bereich des Ellenbogengelenkes in die Arteria radialis und Arteria ulnaris aufteilt.

Die Arteria ulnaris zieht zur Kleinfingerseite der Hand und endigt im oberflächlichen Hohlhandbogen (Arcus palmaris superficialis) (Abb. 1)

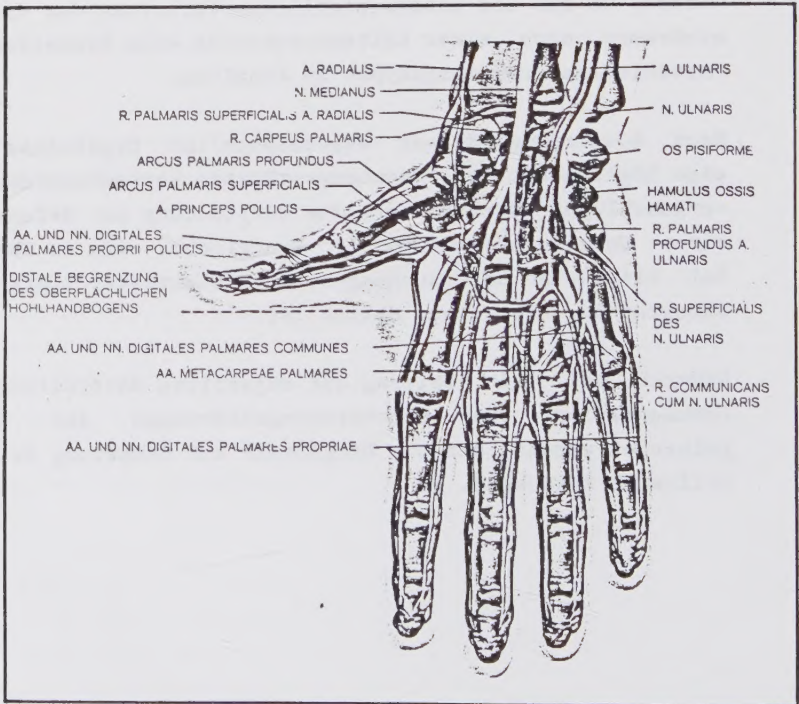


Abb. 1: oberflächlicher Hohlhandbogen (NETTER, 1969)

Aus diesem entspringen 3 Arteriae digitales communes, die je 2 Arteriae digitales palmares propriae zu den einander zugekehrten Seiten benachbarter Finger schicken. Der 5. Finger erhält seine Arterien direkt aus dem Hohlhandbogen.

Die Arteria radialis zieht zur Daumenseite der Hand und speist hauptsächlich den tiefen Hohlhandbogen (Arcus palmaris profundus). Aus diesem gehen 3-4 Arteriae metacarpeae palmares hervor, die mit den Arterien des oberflächlichen Hohlhandbogens teilweise anastomosieren (Abb. 2).

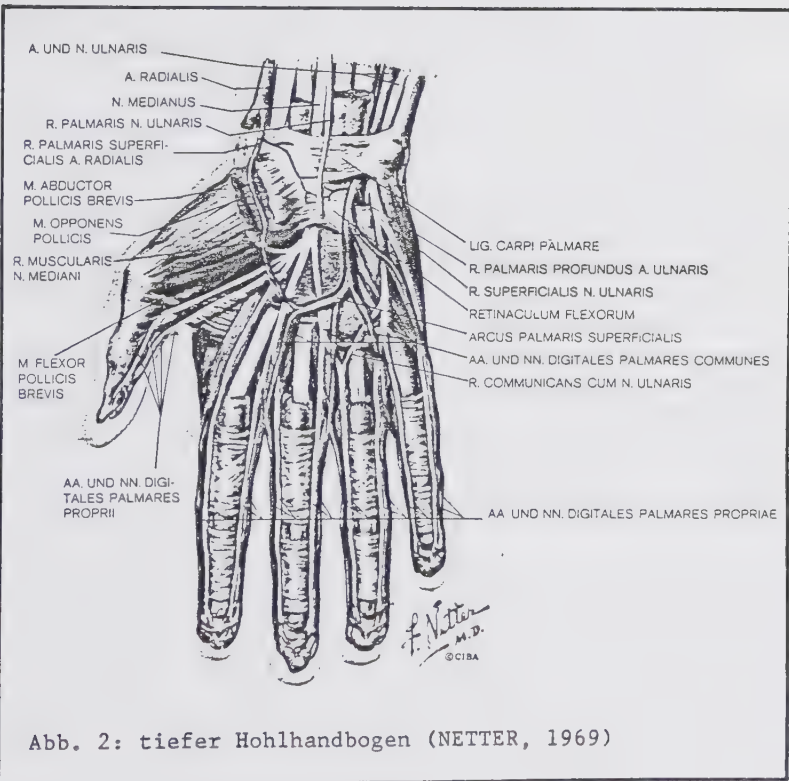


Abb. 2: tiefer Hohlhandbogen (NETTER, 1969)

Der einzelne Finger wird also in der Regel durch 4 Arterien versorgt, 2 Arteriae digitales dorsales und 2 Arteriae digitales palmares (Abb. 3).

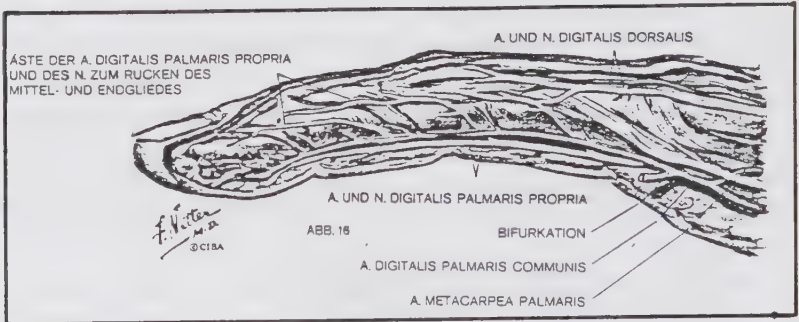


Abb. 3: Fingerarterien (NETTER, 1969)

3.1.2. Thermorezeption und -regulation

Der Temperatursinn des Menschen gliedert sich in die beiden Qualitäten Wärme und Kälte, die sich nach objektiven und subjektiven Befunden unterscheiden lassen. Es finden sich als anatomisches Korrelat zwei Rezeptorpopulationen sowie zugehörige Nervenfasern.

Als Bedingungen für das Auftreten von Temperaturempfindungen sind wesentlich:

- 1) die absolute Temperatur,
- 2) die Geschwindigkeit der Temperaturänderung,
- 3) die Größe der Reizfläche.

Die Thermorezeptoren reagieren also nicht nur auf die absolute Temperatur, sondern auch auf den zeitlichen Differentialquotienten der Temperaturänderung. Es handelt sich demnach aus kybernetischer Sicht um Proportional-Differentialfühler (SCHMIDT, 1985).

Jede Rezeptorgruppe spricht in einem bestimmten Temperaturbereich an, wobei die Maxima der Impulsfrequenzen bei Temperaturkonstanz (stationäre Dauerentladung) für die Wärmerezeptoren bei ca. 43 Grad Celsius und für die Kälterezeptoren bei ca. 30 Grad Celsius liegen (HENSEL, 1985).

Bei abrupter Änderung der Temperatur antworten die Rezeptoren mit anfänglich überschießenden Frequenzerhöhungen, an die sich eine Adaptation auf eine neue Dauerfrequenz anschließt. Dabei ist die überschießende Erregung umso höher, je schneller die Temperaturänderung geschieht (dynamisches Verhalten).

Für den physiologischen Effekt eines Temperaturreizes ist jedoch nicht die Impulsfrequenz eines einzelnen Rezeptors

maßgebend, sondern die Integration der Impulse aus vielen gleichzeitig erregten Rezeptoren, welche im ZNS in der Hypothalamusregion erfolgt.

Von den dort befindlichen Regelungscentren aus werden auf humoralem oder neuronalem Wege verschiedene Stellglieder in Gang gesetzt, die in der Lage sind, Temperaturstörungen des Organismus zu kompensieren. Dies sind vor allem die Skelettmuskulatur zur Wärmeproduktion und die Hautgefäße zum Wärmeabtransport (BRÜCK, 1985).

Für die Wärmeregulation besonders günstige Verhältnisse finden sich an den Extremitäten, v.a. den Händen. Durch die langgestreckte zylindrische Form der Finger liegt eine große Hautoberfläche im Verhältnis zu dem relativ geringen Volumen vor. Daher sind sie bevorzugte Stellen der Wärmeabgabe.

Die im Dienste der Temperaturregulation stehende Hautdurchblutung an der Hand kann je nach Ausgangslage in einem sehr großen Bereich variiert werden. So wurden an den Fingern Durchblutungswerte in kalter und warmer Umgebung zwischen 0,2 und 120 ml/min bezogen auf 100 ml Gewebe gemessen, was einem Verhältnis von 1:600 entspricht (KIRSCH, 1983).

3.1.3. Durchblutungsregulation

Die Temperaturverteilung der Haut wird zum größten Teil durch deren Durchblutung beeinflusst (KENNER, 1982).

Wegen des verhältnismäßig großen Anteils der stark vaskularisierten Haut am Gesamtquerschnitt der Finger und des Fehlens jeglicher Skelettmuskulatur kann innerhalb vertretbarer Grenzen von der Hauttemperatur auf die Gesamtdurchblutung geschlossen werden (SCHWARZLOSE, 1981).

Die Steuerung der kutanen Mikrozirkulation erfolgt primär über die glatte Gefäßmuskulatur, die spiralförmig über das glatte Endothelrohr des Gefäßes gewunden ist. Durch Änderungen des Kontraktionszustandes dieser Muskelzellen wird besonders das Gefäßlumen variiert. Dieser Mechanismus kommt vor allem zur Anwendung an den Arteriolen und den sogenannten "präkapillären Sphinkteren". Diese stellen keine anatomischen Spezialstrukturen dar, sondern bezeichnen funktionelle Gefäßabschnitte, die sich durch strategisch günstige Lage und eine große relative Wandstärke auszeichnen (GAETHGENS, 1982).

Die Variation des Gefäßlumens hat starke Änderungen des Blutflusses zur Folge, was in dem HAGEN-POISEUILLE schen Strömungsgesetz zum Ausdruck kommt (Abb. 4).

$$V = \frac{\Delta P \cdot r^4 \cdot \pi}{\eta \cdot l \cdot 8}$$

Abb. 4: HAGEN-POISEUILLE sches Strömungsgesetz

V	Stromzeitvolumen	l	Länge
ΔP	Druckgradient	r	Radius
$\pi / 8$	Konstante	η	Viskosität

Neben der Veränderung des Gefäßradius (r), die wegen des Auftretens in der 4. Potenz ein besonderes Gewicht besitzt, spielen noch weitere Faktoren eine Rolle. Das Stromzeitvolumen (V) wächst proportional zum treibenden Druckgradienten (ΔP), d.h. zur Differenz zwischen arteriellem und venösem Blutdruck. Änderungen der Länge (l) dieser Strombahnabschnitte sind minimal und für die Variation der Durchblutung ohne Bedeutung. Dagegen können Steigerungen der Viskosität (η) des Blutes die Mikrozirkulation erheblich beeinflussen (SCHMID-SCHÖNBEIN, 1981). Da bereits über geringe Radiusvariationen starke Änderungen des Blutflusses zu erreichen sind, bedient sich die Natur überwiegend dieses Stellgliedes zur Regelung der Gewebsdurchblutung, wobei verschiedene Mechanismen der Steuerung zur Anwendung kommen.

1) lokale, metabolische Durchblutungsregulation

Stoffwechselmetabolite beeinflussen direkt durch Diffusion dieser Substanzen den Kontraktionszustand der Gefäßmuskulatur, wobei dilatatorische Reaktionen überwiegen. Hypoxie mit Absinken des arteriellen Sauerstoffpartialdruckes (pO_2), Anstieg des Kohlendioxidpartialdruckes (pCO_2), Laktazidose mit Anstieg der Wasserstoffionenkonzentration und daraus resultierender Senkung des pH-Wertes, Freisetzung von Kaliumionen und Metaboliten des ATP-Abbaues führen zur Vasodilatation und damit zur Steigerung der Durchblutung (KAPPERT, 1985).

2) humoral, hormonale Durchblutungsregulation

Die Katecholamine Adrenalin und Noradrenalin werden ständig in geringen Mengen aus dem Nebennierenmark ausgeschüttet und wirken als Hormone ubiquitär auf die Gefäßmuskulatur. Der Effekt ihrer Wirkung ist abhängig von

der Anwesenheit von sogenannten "adrenergen Rezeptoren" an der Gefäßmuskulatur, wobei Erregungen der alpha-Rezeptoren eine Vasokonstriktion und die der beta-Rezeptoren eine Vasodilatation hervorrufen.

Bei Verletzung von Haut und Schleimhäuten oder Antigen-Antikörper-Reaktionen wird Histamin aus Mastzellen freigesetzt, das eine Vasodilatation und eine Erhöhung der Kapillarpermeabilität bewirkt.

Aus den Schweißdrüsen wird bei Aktivierung Kallidin und Bradykinin ausgeschüttet, die beide ebenfalls stark vasodilatatorisch wirken und auf diesem Wege eine Mehrdurchblutung der Hautgefäße zur Folge haben (WITZLEB, 1985).

3) nervale Durchblutungsregulation

Alle Blutgefäße mit Ausnahme der Kapillaren werden durch das vegetative Nervensystem mit seinen beiden Anteilen Sympathikus und Parasympathikus innerviert. Durch Freisetzung der Neurotransmitter wird ebenfalls über die Erregung "adrenerger Rezeptoren" am Gefäßmuskel der Kontraktionszustand verändert, wobei gerade auch an den Fingern die Vasokonstriktion vorherrscht (Angst, Aufregung, Streß). Über diese Efferenzen des autonomen Nervensystems nehmen auch die Nervenimpulse Einfluß auf die Durchblutung, die von den Thermorezeptoren der Haut ausgehen und dann im Temperaturregulationszentrum des Hypothalamus integriert und umgeschaltet werden.

3.2. Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom (VVS)

3.2.1. Darstellung des Krankheitsbildes

Im Jahre 1862 beschrieb der französische Neurologe MAURICE RAYNAUD in seiner Arbeit "De l asphyxie et de la gangrene symmetrique des extremitées" erstmals das später nach ihm benannte Krankheitsbild. Es ist gekennzeichnet durch verminderte Durchblutung der Finger verbunden mit plötzlichem Kalt- und Weißwerden.

Heute wird aufgrund klinischer Erfahrungen differenziert in (SCHULTE, 1982, ERNST, 1981):

1) das primäre RAYNAUD-Syndrom

- es liegen funktionelle Störungen zugrunde
- vorwiegend betroffen ist das weibliche Geschlecht (weiblich:männlich = 5:1)
- Krankheitsbeginn nach der Pubertät
- symmetrischer Befall an beiden Händen
- der Daumen ist in der Regel nicht betroffen
- keine trophischen Läsionen oder organische Veränderungen
- Störungen verschwinden mit zunehmendem Alter

2) das sekundäre RAYNAUD-Syndrom

- die akrale Ischämie resultiert aus einer organisch bedingten Gefäßstenose
- vorwiegend betroffen ist das männliche Geschlecht
- späterer Krankheitsbeginn (älter als 20 Jahre)
- asymmetrischer Befall der Finger
- häufig treten trophische Läsionen auf, zum Beispiel Fingerkuppennekrosen.

Dem sekundären RAYNAUD-Syndrom können zahlreiche Krank-

heiten zugrunde liegen, unter anderen auch ein chronisches Vibrationstrauma (Tab. 1).

Tab. 1: Mögliche Krankheiten des sekundären RAYNAUD-Synoms (SCHULTE, 1982).

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| - Arteriosclerosis obliterans | - Kryoglobulinämie |
| - Endangitis obliterans | - Intoxikationen |
| - Kollagenosen | - Stoffwechselstörungen |
| - Schultergürtelsyndrom | - Verletzungen |
| - chronisches Vibrationstrauma | |

Seit bei Arbeitern, die mit vibrierenden Geräten umgingen, raynaud - artige Symptome festgestellt worden waren (LORIGA, 1911), wurde in den folgenden Jahren zunehmend auf die enge Beziehung zwischen Vibrationen und RAYNAUD-Symptomatik hingewiesen. Es wurden verschiedene Krankheitsbezeichnungen eingeführt:

- "Raynaud s phenomenon of occupational origin"
(AGATE, 1949)
- "Traumatic vasospastic disease (TVD)" (PYYKKÖ, 1974)
- "Vibration Induced White Fingers (VWF)"
- "Weißfingerkrankheit"
- "Vibrationsbedingtes Vasospastisches Syndrom (VVS)"
(KLOSTERKÖTTER, 1975)

Diese letzte Bezeichnung hat sich im deutschen Sprachraum durchgesetzt und wird auch im folgenden gebraucht.

Das Krankheitsbild des VVS ist gekennzeichnet durch anfallsartige, lokal begrenzte Durchblutungsstörungen der Hände. Es tritt meist nach einigen Jahren beruflicher

Tätigkeit mit vibrierenden, von Hand geführten Maschinen auf (ISO/DIS 5349, 1984). Derartige Geräte, zu denen z.B. Bohrer, Sägen, Niethämmer, Anklopfmaschinen und Schleifmaschinen zählen, werden vor allem in der Forstwirtschaft, der metallverarbeitenden Industrie sowie im Baugewerbe eingesetzt (DUPUIS, 1982).

Die Anfälle der chronisch-intermittierend auftretenden Durchblutungsstörungen sind örtlich begrenzt auf den Teil der Hand, der die Vibrationen hauptsächlich aufnimmt. In den meisten Fällen sind die Finger 2-5 der Halte- und Bedienungshand betroffen, nur ausnahmsweise der Daumen und die Hohlhand. Während der Anfälle ist ein stadienhafter Verlauf festzustellen:

Zu Beginn zeigt sich eine an den Fingerspitzen einsetzende, sich nach proximal ausbreitende Blässe. Dieser Ischämiephase kann eine zyanotische Blaufärbung folgen, die von einer hyperämischen Rötung abgelöst wird. Diese den Anfall beendende Phase geht oft mit Schmerzen einher (Weiß-Blau-Rot-Phänomen) (LAARMANN, 1977).

Im Anfall ist in den betroffenen Fingern das Empfindungsvermögen herabgesetzt, wodurch vor allem die Bewältigung feiner manueller Tätigkeiten erschwert wird. Die Dauer eines Anfalles beträgt wenige Minuten bis zu einer Stunde, je nach der Möglichkeit der Erwärmung. Zwischen den vasospastischen Attacken sind die betroffenen Personen beschwerdefrei.

Der Krankheitsverlauf ist mit andauernder Vibrationsbelastung progredient. Zu Beginn treten die anfallsartigen Durchblutungsstörungen nur auf, wenn zusätzlich zur Schwingungsbelastung niedrige Umgebungstemperaturen vorliegen. Später genügt schon eine allgemeine Unter-

kühlung, um die Anfälle auszulösen. Im Spätstadium treten sie auch ohne Kälte- und Vibrationsbelastung auf, z.B. in der Nacht.(DUPUIS, 1981; KNIEB, 1981).

Zur Beurteilung der Schwere der Erkrankung und zur Vergleichbarkeit von Untersuchungen liegt eine Stadieneinteilung vor (TAYLOR, 1974), die international anerkannt ist und am häufigsten angewendet wird (Tab. 2).

Tab. 2: Stadieneinteilung des VVS mit Symptomen und
Beeinträchtigungen
(TAYLOR, 1974, TAYLOR et al., 1977)

Stadien	Merkmale/Symptome	Beeinträchtigungen
O	kein Weißwerden der Finger	keine
O _T	gelegentliches Prickeln in den Fingerspitzen	keine Arbeitsbehinderung
O _N	gelegentliche Taubheitsempfindung in den Fingerspitzen	keine Arbeitsbehinderung
1	Weißwerden einer oder mehrerer Fingerspitzen mit oder ohne Prickeln und Taubheit	keine Arbeitsbehinderung
2	Weißwerden eines oder mehrerer ganzer Finger mit Taubheit, auf die Winterzeit beschränkt	Leichte Beeinträchtigung im privaten und sozialen Bereich. Leichte Arbeitsbehinderung
3	Umfassendes Weißwerden der Finger meist beider Hände. Häufige Attacken sowohl im Winter als auch im Sommer	Starke Beeinträchtigung bei der Arbeit, im privaten und sozialen Bereich (Hobbies)
4	Symptome wie bei 3, jedoch stärker und häufiger	Beschwerden werden nicht mehr toleriert. Sehr starke Beeinträchtigung, erfordert Wechsel der Beschäftigung

3.2.2. Theorien zur Pathogenese des VVS

Bis heute existiert noch keine eindeutige und allgemein anerkannte Erklärung der Pathogenese des VVS.

Aus den zahlreichen unterschiedlichen Hypothesen sollen im folgenden diejenigen dargelegt werden, die in jüngster Zeit als plausibel angesehen werden (GEMNE, 1982).

Eine Theorie (PYYKKÖ, 1974) macht für die Vasospasmen, die als übermäßig starke und lang anhaltende Vasokonstriktionen der Raynaud-Symptomatik zugrunde liegen sollen, ein übermäßiges Wachstum der Gefäßmuskelschicht verantwortlich. Diese Massenzunahme wird durch oft wiederholte Kontraktionen gefördert. Die Kontraktionen sollen durch reflektorische Nervenimpulse ausgelöst werden, die von den Paccini-Körperchen ausgehen. Diese intrakutan gelegenen Gebilde stellen das histologische Korrelat der Beschleunigungsrezeptoren dar, die durch Vibrationen stimuliert werden.

Die aus dem beschriebenen "Reflexbogen" resultierende Hypertrophie der Gefäßmuskulatur führt zu einer Verkleinerung des Gefäßlumens.

Wird ein Gefäß mit derart verringertem Durchmesser einem Kältereiz ausgesetzt, so führt dieser zu einer relativ stärkeren Vasokonstriktion als bei einem "normalen" Gefäß, woraus eine Reduktion des Blutflusses resultiert.

Nach anderen Untersuchungen (SILVERTSSON u. LJUNG, 1976) führen lokale Vibrationen zu einer Erschlaffung der glatten Gefäßmuskulatur. Während dieser durch Vibrationen ausgelösten Vasodilatation bleibt der Muskelmetabolismus jedoch weiterhin auf hohem Niveau. Wenn es über längere Zeit hinweg zu mehrfachen Wiederholungen dieser Reaktion kommt, führt dieses Verhalten ebenfalls zu einer Hyper-

trophie der Gefäßwandmuskulatur und konsekutiver Lumen-einengung.

Weiterhin wird eine reflexverstärkte Hyperaktivität des Sympathikus diskutiert, welche durch vibrationsbedingte Alterationen des Nervensystems ausgelöst wird und für die Vasospasmen verantwortlich sein soll. Da die akralen Gefäße besonders gut durch efferente vegetative Nervenfasern innerviert sind, führt die Hyperreaktivität des Sympathikus zu inadäquat starken Konstriktionen (WALTER, 1984).

Außer dem ätiologischen Faktor "Vibration" führen auch noch andere Belastungen zu einem gesteigerten Sympathikotonus mit daraus resultierender Vasokonstriktion und müssen darum ebenfalls als mögliche mitwirkende Faktoren angesehen werden.

Lärm mit Intensitäten über 70 dB(A) wirkt als starker Vasokonstriktor, wobei keine oder nur geringe Adaptationsmöglichkeiten bestehen (JANSEN, 1969, PYYKKÖ, 1982).

Kälte ist der natürliche Umweltfaktor, der zu einer Symptomverstärkung bei vasospastischen Durchblutungsstörungen führt.

Muskulararbeit vermindert ebenfalls die Hauttemperatur, weil zur Deckung des Blutbedarfs in der arbeitenden Muskulatur teilweise die Hautdurchblutung reduziert wird (STARCK, 1984).

Nach derzeitigem Wissen erscheint es wahrscheinlich, daß dem VVS eine multifaktorielle Ätiologie zugrunde liegt, zu deren Faktoren Kälte, Lärm und ergonomische Aspekte (Greifkraft, Körperhaltung) gehören.

Ebenfalls müssen psychische Belastungen durch Beruf und Umwelt berücksichtigt werden (HEIDRICH, 1972).

Im Hinblick auf die Vielzahl von ätiologischen Elementen zusätzlich zu den Vibrationen wird von einigen Experten eine Änderung der Krankheitsbezeichnung in "acquired vasospastic disease" vorgeschlagen (GEMNE, 1982), die sich jedoch noch nicht durchgesetzt hat.

3.3. Thermographische Diagnoseverfahren

3.3.1. Infrarot-Thermographie

Die Infrarotthermographie ist eine Form der Strahlungsmessung der von einem Körper ausgesandten elektromagnetischen Energie im Infrarotbereich. Das Wellenlängenspektrum dieser Strahlung umfaßt den Bereich von 0,75 bis 1000 Mikrometer; das kurzwellige Ende liegt an der Grenze zum sichtbaren Licht im "tiefen Rot", während das langwellige Ende im Mikrowellenbereich liegt (Abb. 5).

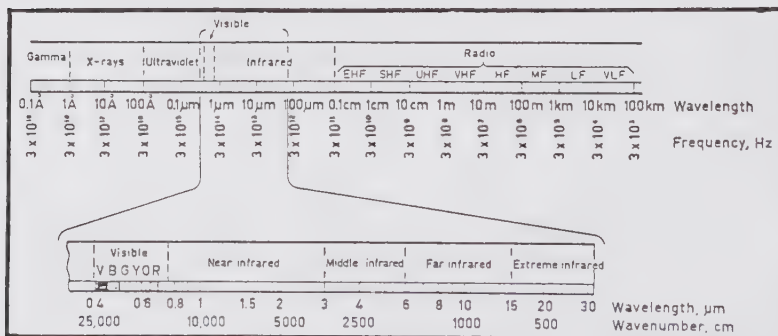


Abb. 5: Spektrum der elektromagnetischen Wellen
(LECHI, 1977)

Voraussetzung für das Messen von Objekttemperaturen mit Strahlungsdetektoren ist die Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Temperatur und Strahlung eines Körpers.

Jedes Objekt mit einer Temperatur oberhalb des absoluten Nullpunktes (0 Kelvin = -273,16 Celsius) strahlt Energie in Form elektromagnetischer Wellen ab, die als Wärme- oder Temperaturstrahlung bezeichnet wird.

Gustav KIRCHHOFF führte die Bezeichnung "schwarzer Körper" für ein Objekt ein, das sämtliche einfallende Strahlungs-

Energie absorbiert und formulierte im Jahre 1860 das nach ihm benannte Gesetz. Dies besagt dem Inhalt nach, daß ein Körper, der in der Lage ist, die gesamte Strahlung einer beliebigen Wellenlänge zu absorbieren, im gleichen Ausmaß auch Strahlung emittieren kann.

Seitdem dient der "schwarze Körper" als Vergleichsnormal: er ist der bestmögliche thermische Strahler mit dem Emissionsgrad $e=1$.

Die Beziehung der emittierten Wärmestrahlung eines "schwarzen Körpers" zur absoluten Temperatur dieses Körpers wird durch das STEFAN-BOLTZMANN-Gesetz beschrieben. Danach ist der Gesamtbetrag der abgestrahlten Energie proportional der 4. Potenz seiner absoluten Temperatur.

Die menschliche Haut besitzt ihr Maximum der emittierten Temperatureigenstrahlung bei einer Temperatur von 300 K bei ca. 8-10 Mikrometer und läßt sich in diesem Wellenlängenbereich bei einem Emissionsgrad von $e=0,98$ mit ausreichender Genauigkeit als "schwarzer Körper" ansehen (MITCHELL, 1967)

Somit läßt sich nach den oben dargelegten Gesetzen die Verbindung zwischen Energiestrahlung und Oberflächentemperatur herstellen, wodurch das Grundprinzip der Infrarotthermographie erklärt ist.

Moderne Thermographiesysteme zum Einsatz in der Medizin arbeiten mit solchen Halbleiterkristallen als Detektoren, deren optimale Empfindlichkeit im Wellenlängenbereich der menschlichen Haut liegt (z.B. CdHgTe), wodurch eine zuverlässige Messung ermöglicht wird.

Die Meßgröße der Detektoren ist der auf die empfindliche Detektorfläche auftreffende Strahlungsfluß, der durch Ausnutzung des Fotoeffektes ein elektrisches Ausgangssignal auszulösen vermag. Über ein optisches System aus

Linse, Spiegeln und Prismen, kombiniert mit einer zwei-dimensional arbeitenden Abtastautomatik kann die Meßebene abgetastet und zu einem Bild der Oberflächen-temperaturverteilung zusammengesetzt werden (Abb. 6). Der Anschluß an ein Datenverarbeitungssystem zur digitalen Bildverarbeitung und Bildspeicherung ermöglicht die Dokumentation und spätere Auswertung.

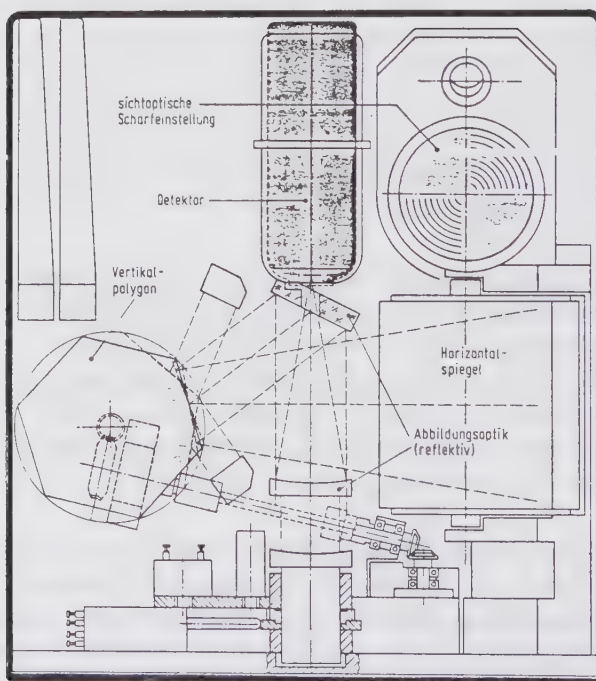


Abb. 6: Schnittbild des Aufbauprinzijs eines Meßkopfes
(SPECHT, 1981)

3.3.2 Flüssigkristall-Thermographie

Ein weiteres diagnostisches Verfahren ist das der Flüssigkristall-Thermographie, deren Anfänge bis in das vorige Jahrhundert zurückreichen.

Im Jahre 1889 führte LEHMANN den Begriff "fließende Kristalle" ein, nachdem er festgestellt hatte, daß bei einigen organischen Substanzen bei einer bestimmten Temperatur ein mesomorpher Zustand zwischen der festen (kristallinen) und der flüssigen Phase existiert.

In dieser Mesophase nehmen die Moleküle in Gruppen zueinander eine geordnete Lage und Richtung ein, die Gruppen sind jedoch untereinander und gegeneinander verschieblich (FLESCHE, 1981).

Substanzen, die die Eigenschaft besitzen, einen solchen liquo-kristallinen Zustand einzunehmen, werden als Flüssigkristalle bezeichnet, dies sind vor allem Cholesterinderivate.

Bei den Flüssigkristallen liegt ein schichtförmiger Aufbau vor, wobei Moleküle in einer Schicht in die gleiche Richtung ausgerichtet sind und die Schichten untereinander bezüglich der Ausrichtung der Moleküle eine schraubenförmige Anordnung (Helix) mit dem Abstand 0,3µm und Schraubengang ca. 550 nm (Nanometer) aufweisen.

Cholesterinische Flüssigkristalle reflektieren innerhalb des mesomorphen Zustandes bei einer bestimmten Temperatur das Licht in einem engen Bereich um eine bestimmte Wellenlänge herum, während Licht anderer Wellenlängen durchgelassen wird.

Schon kleine Temperaturunterschiede führen zur Verschiebung von Absorptionsmaxima und damit zu Farbveränderungen

des reflektierten Lichtes.

Bei Anwendung in der Medizin zur Ermittlung der Hautoberflächentemperatur wurde früher im einfachsten Fall eine schwarze Absorptionsschicht und darüber eine Schicht mit Flüssigkristallen aufgetragen. Diese Methode beinhaltete jedoch einige Schwierigkeiten, z.B. vermischten sich die Flüssigkristalle mit dem auf der Haut befindlichen Fettfilm, was zu unerwünschten Farbveränderungen führte. Später kamen verstärkt dünne Folie zur Anwendung, die auf einer Seite mit schwarzer Farbe und auf der anderen mit Flüssigkristallen bedeckt waren (CRISSEY, 1965). Weitere Verbesserungen wurden erreicht, indem die Flüssigkristalle als sehr kleine Tröpfchen mit einem Durchmesser von 5-20 Mikrometern in einem lichtdurchlässigen Polymer verteilt und diese Masse auf einem lichtundurchlässigen Trägermaterial aufgebracht wurden.

Heute liegen derartige Folien vor, die ein Temperaturfenster von 0,1 Grad Celsius und ein Temperaturlösungsvermögen bis zu 0.007 Grad C besitzen (FLESCH, 1983).

Bei der Anwendung dieser Methode muß jedoch der Einfluß durch vielerlei Störgrößen berücksichtigt werden, von denen im folgenden nur einige genannt werden:

- die Folie besitzt eine eigene Wärmekapazität
- durch Andrücken der Folie an die Haut wird deren Durchblutung beeinflusst
- Veränderung des normalen Wärmeaustausches z.B. durch Transpiration.

Daraus ergeben sich Schwierigkeiten, von der reflektierten Farbe auf die absolute Temperatur der Hautoberfläche zu schließen.

Die Stärke dieses Verfahrens liegt daher vielmehr in der Bildinformation einer relativen Temperaturverteilung auf der Haut.

3.3.3. Anwendung der Thermographie in der Medizin

Das noch relativ junge Diagnoseverfahren der Thermographie hat bereits in nahezu allen Bereichen der Medizin seinen Einzug gehalten. Ständig steigt die Zahl der Ärzte und Kliniken, die dieses Diagnoseverfahren zur Frühdiagnostik und im Rahmen von Vorsorgeuntersuchungen einsetzen. Aus der Fülle der Anwendungsbereiche sollen im folgenden nur einige Beispiele aus den unterschiedlichsten Fachgebieten angeführt werden.

Das Hauptanwendungsgebiet ist zweifellos die Früherkennung des Brustkrebses im Rahmen der senologischen Vorsorgeuntersuchungen, wobei die diagnostische Aussagekraft beider thermographischer Methoden als gleichwertig anzusehen ist (JOHNSEN, 1982).

Da das Mammakarzinom an erster Stelle der Krebstodesfälle bei Frauen in der westlichen Welt steht, sind die Möglichkeiten der Früherkennung umfassend auszunutzen.

Besonders geeignet ist die Thermographie bei Frauen unter 35 Jahren, da in dieser Altersgruppe der Einsatz radiologischer Verfahren aus Strahlenschutzgründen häufig bedenklich erscheint (KUBISTA und KUCERA, 1980). Der Vorteil dieses Verfahrens liegt unter anderem auch darin, daß es nicht an den Nachweis morphologischer Veränderungen gebunden ist. Bereits vermehrte Zellproliferationen, die mit Stoffwechselsteigerung verbunden sind und zu vermehrter Wärmebildung führen, lassen sich thermographisch lokalisieren, so daß sich thermische Veränderungen bereits vor klinisch und -mammographisch faßbaren Befunden nachweisen lassen und die Krebsentstehung daher früher erkennbar wird (GAUTHERIE und GROS, 1980).

Außerdem kommt den thermographischen Diagnoseverfahren auch besondere Eignung in der Nachsorge und Metastasen-

suche beim Mammakarzinom zu (GAYDOUL, 1978).

Aus umfangreichen Studien liegen international anerkannte Klassifikationen von Brustthermogrammen vor (FLESCH und WITT, 1982), die im Rahmen von Weiterbildungsveranstaltungen Gynäkologen vermittelt werden (VON FOURNIER, 1981).

Ein weiterer Anwendungsbereich ist die Diagnostik der tiefen Venenthrombosen. Hier ergänzt die Thermographie das invasive radiologische Verfahren der Phlebographie, das zwar nach wie vor die höchste Spezifität beinhaltet, aber selbst auch Thrombosen induzieren kann (JENSEN, 1983). In klinischen Studien wurde eine Übereinstimmung beider Verfahren in ca. 90% gefunden (BERGQVIST, 1977). Zur thermographischen Diagnose tragen sowohl eine erhöhte Temperatur und verzögerte Abkühlung der thrombosierten Extremität (COOKE und PILCHER, 1974), als auch bestimmte Belastungstests bei (HENDERSON et al., 1978).

In der Rheumatologie können Erhöhungen der Oberflächen-temperatur thermographisch erfaßt werden, denen eine durch die Freisetzung von Mediatoren verursachte Vasodilatation der Synovialis erkrankter Gelenke und abhängiger Hautbezirke zugrunde liegt (ENGEL, 1984a). Außerdem kann die therapeutische Wirksamkeit lokal applizierbarer Pharmaka im Verlauf schmerzhafter, sekundär entzündlicher Reizzustände bei Gonarthrose in geeigneter Weise kontrolliert werden (ENGEL, 1984b).

Außerdem kommt die Thermographie zur Anwendung bei der Überprüfung männlicher Infertilität durch Varikozelen (JECHT, 1981, GALLO, 1983), zur Erfassung der Shuntfunktion bei chronisch dialysierten Patienten (KOPSA et.al., 1981), zur Abklärung des Operationsausmaßes beim malignen Melanom (HARTMANN und KUNZE, 1980), zur Beurteilung der Einheilung von Hauttransplantaten (WEILER, 1983), bei Ge-

sichts- und Schädeltumoren (SOWA, 1980), bei aortokoronaren Bypassoperationen in der Herzchirurgie (OSTER et al., 1983) und in der Diagnose spinaler Wurzelkompressionssyndrome in der Neurochirurgie (POCHACZEVSKY, 1982).

Ebenfalls wurden thermographische Untersuchungen bereits erfolgreich zur Erfassung vasospastischer Erkrankungen angewendet (GESER und BÖSIGER, 1983), sowohl zur Beurteilung raynaud-artiger Krankheitsbilder in der Dermatologie (BRACHTEL und SCHRAMM, 1978), als auch im Rahmen arbeitsmedizinischer Studien über das VVS (MÄHRLEIN et al., 1974, CHUDACEK, 1977, WOELKE-SEIDL, 1982).

4. EXPERIMENTELLER TEIL

=====

4.1. Methodik

4.1.1. Infrarot-Thermographie

Zu den thermographischen Untersuchungen wurde das Thermographie-System IKOTHERM der Firma ZEISS, Oberkochen, verwendet, das mit einem Rechner HP 9845 B gekoppelt ist. Dieses System besteht aus Sensorkopf, Bedien- und Anzeigeeinheit, digitalem Bildspeicher, Farbmonitor, Rechner mit doppeltem Diskettenlaufwerk sowie einem Drucker. Es ermöglicht eine kontaktlose Erfassung, Darstellung und Speicherung der Temperaturverteilung der Hände (Abb. 7).

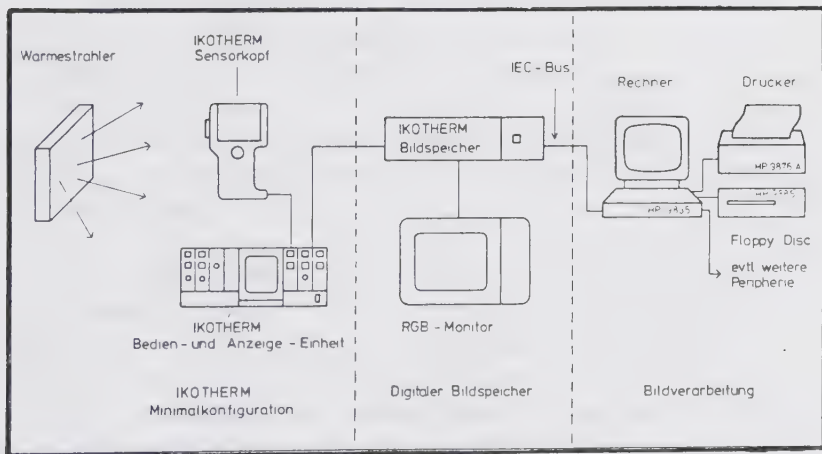


Abb. 7: Thermographiesystem IKOTHERM

Das entstehende Bild wird aus 65500 Meßpunkten zusammen-

gesetzt, deren jeweiliger Temperaturwert mit 8 bit- Auflösung dargestellt wird und 256 diskrete Temperaturstufen umfaßt. Aufgrund der eingebauten Temperaturreferenz, deren Temperatur berührend gemessen und mit der Strahlungsleistung verglichen wird, können absolute Temperaturen mit hinreichender Genauigkeit bestimmt werden.

Der Sensorkopf enthält das Scansystem, die Empfängeroptik und den Detektor sowie die interne Temperaturreferenz einschließlich der notwendigen Schaltungen zur Steuerung der Antriebe. Nachfolgend sind einige zum Verständnis wichtige Daten des IKOTHERM-Systems zusammengestellt (Tab. 3).

Tab.3: Gerätedaten des IKOTHERM-Systems
(Produktinformationen Fa. ZEISS)

Detektor	HgCdTe
Spektralbereich	8 - 12,5 Mikrometer
Detektorsehfeld	1 mrad
Detektorkühlung	Stickstoff -176 Grad C
maximale Bildfrequenz	1 Hz
Brennweite	100 mm
Tiefenschärfe	0,04 m bei 1m
Temperaturauflösung	0,01 bis 0.39 Grad C
absolute Meßgenauigkeit	
bei Emmissionskorrektur $e=1$	0,3 Grad C

Zur weiteren Bearbeitung der Meßdaten wurde das Programm THERMOTOM der Firma SOFTWARE-PARTNER GmbH, Darmstadt, verwendet. Dieses Rechnerprogramm ermöglicht die Angabe der absoluten Temperatur, die Ermittlung von Temperaturprofilen über jeden Finger sowie eine zeitabhängige Darstellung der Meßdaten.

4.1.2. Kälteprovokation

In der Literatur sind keine übereinstimmenden Empfehlungen zur Durchführung eines Kälte-Provokation-Tests (KPT) zu finden. Hinsichtlich ihrer Bedingungen weisen die dort geschilderten KPT eine hohe Variationsbreite auf. Dies betrifft sowohl die Ausgangsbedingungen, als auch die Wassertemperatur und Expositionsdauer. Aus diesem Grunde können die aus diesen Versuchen gewonnenen Ergebnisse und Aussagen nicht ausreichend miteinander verglichen werden. Diesem Mißstand wurde im Rahmen des Forschungsprojektes "Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen der Hände" des Bundesministeriums für Forschung und Technologie und des Hauptverbandes der Gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V. derart Rechnung getragen, daß verschiedene Variationen bezüglich ihrer Aussagekraft untersucht wurden (DUPUIS und SOWA, 1983).

Aus diesen Untersuchungen geht als Ergebnis eine Empfehlung der Parameter Wassertemperatur 15 Grad Celsius und Expositionszeit 1 Minute hervor.

Die Probanden wurden etwa 10 Minuten an die Raumtemperatur von 22 Grad Celsius akklimatisiert, bis die Hände eine konstante Oberflächentemperatur aufwiesen. Zur eigentlichen Kälteprovokation tauchte der Proband seine beiden Hände bis ungefähr 2 Zentimeter über die Handgelenke in das temperierte Wasserbad, das in einer Plastikwanne mit 20 Litern Füllung hergestellt wurde. Das Wasser wurde durch eine Pumpe ständig umgewälzt und durch einen Thermostat auf der gewünschten Temperatur gehalten.

Nach der Expositionszeit von 1 Minute nahm die Versuchsperson beide Hände aus dem Wasser heraus. Mit einem Trocknungspapier, dessen Saugkraft sich als hoch erwiesen hatte, wurden die feuchten Hände ungefähr eine halbe Minu-

te lang vorsichtig von dem Untersucher abgetupft, so daß zwar das an den Händen verbliebene Wasser entfernt wurde, aber keine Irritation oder Massage der Hände erfolgte, damit nichtbeabsichtigte Anregungen der Durchblutung vermieden wurden.

Anschließend legte die Versuchsperson beide Hände auf ein Netz aus dünnen Kunststoffsaiten, das sich in Herzhöhe befand. Im weiteren Verlauf mußten die Hände für die Dauer der thermographischen Untersuchungen in dieser Position ruhiggehalten werden.

4.2. Versuchsdurchführung

Für die vorliegende Arbeit wurden die Hände von insgesamt 32 Personen thermographisch untersucht. Zunächst absolvierten 2 gesunde Versuchspersonen unter Laborbedingungen verschiedenen Variationen der Drosselung der Blutgefäße eines Fingers. Später wurden Untersuchungen an 30 Arbeitern in verschiedenen Betrieben im Rahmen einer Feldstudie durchgeführt.

Alle Versuchspersonen durften mindestens 1 Stunde vor Beginn der Untersuchungen weder geraucht, noch Kaffee, Alkohol oder Medikamente zu sich genommen haben.

4.2.1. Laborversuche

Die Experimente, bei denen die Blutgefäße eines Fingers in unterschiedlichen Versuchsvariationen gedrosselt wurden, fanden in den Räumen des Instituts für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Mainz an 2 gesunden, freiwilligen Versuchspersonen statt.

Beide Probanden waren Nichtraucher und 25 bzw. 43 Jahre alt.

Zunächst mußte sich jeder Proband nach einer Akklimatisierung an die Umgebungsbedingungen von einer Dauer von mindestens 30 Minuten der Kälteprovokation nach den im vorausgegangenen Kapitel bereits dargelegten Kriterien unterziehen.

Mit Hilfe des Thermographiesystems IKOTHERM wurden für jede Untersuchung 16 thermographische Aufnahmen der Hände erstellt. Dabei wurde die erste Aufnahme unmittelbar vor der Kälteprovokation gemacht, die nächsten 15 Aufnahmen erfolgten nach dem Abtrocknen der Hände in der 3. und 4.

Minute, anschließend in 2-minütigen Abständen bis zur 30. Minute ("Leerversuch").

In Abänderung des geschilderten Versuchsablaufes ("Leerversuch") wurde später bei den weiteren Untersuchungen auf jeweils den Ringfinger der linken Hand (Finger L 4) ein Ring aus Metall (Abb. 8) gesteckt, in dessen Zirkumferenz 4 Schrauben in je einem Gewinde beweglich angebracht sind. Durch Eindrehen der Schrauben bis auf den Finger, wobei zum Schutz vor Verletzung ein kleines Unterlegplättchen zwischen Haut und Schraubenenden angebracht wurde, konnte unter Berücksichtigung der normalen Anatomie des Gefäßverlaufs an diesem Finger eine selektive Okklusion der einzelnen Fingergefäße durchgeführt werden (Abb. 9). Mit dem aufgesteckten Ring absolvierten die Probanden nun ebenfalls den oben geschilderten Ablauf der Untersuchung.

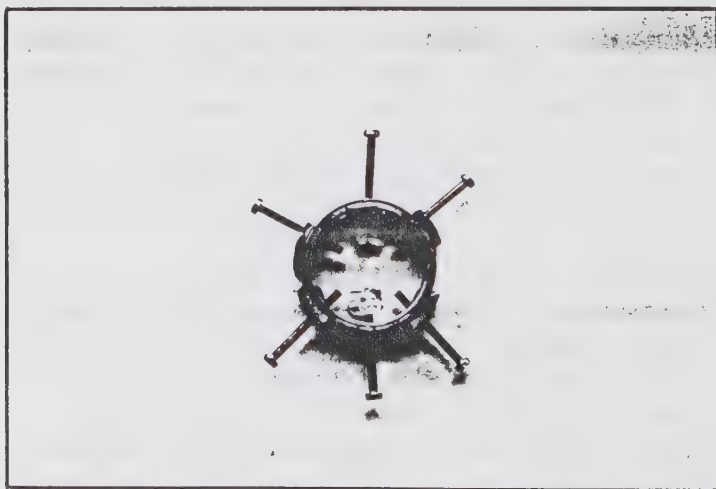


Abb. 8: Ring zur Gefäßdrosselung

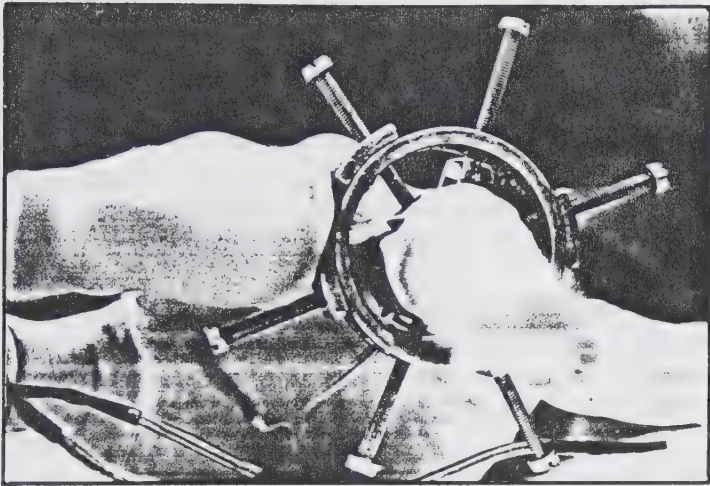


Abb. 9: Ring zur Gefäßdrosselung, in situ

In dieser Versuchsanordnung wurden verschiedene Variationen der Gefäßdrosselung simuliert, wobei die Drosselung über die gesamte Dauer des Versuchs bestehen blieb.

Abweichend von der oben angeführten Bildfolge der thermographischen Aufnahmen wurde bei einem Versuch eine andere Aufnahmenssequenz gewählt, bei der nach der 6.ten Aufnahme (10 Minuten) die Schrauben gelöst und der Ring entfernt wurde. Somit war der Blutfluß wieder freigegeben. Anschließend erfolgten im Abstand von 1 Minute die 7. und dann die restlichen 9 Aufnahmen, um die erwartete reaktive Hyperämie besser erfassen zu können (Versuch 7).

Eine Übersicht der Versuchsvariationen zeigt Tabelle 4.

Tab. 4: Versuche mit Gefäßdrosselung

Versuch 1:	ohne Ring, keine Gefäßdrosselung, alle Fingerarterien frei
Versuch 2:	1 Schraube eingedreht, A. dorsalis sinistra gedrosselt
Versuch 3:	1 Schraube eingedreht, A. palmaris dextra gedrosselt
Versuch 4:	2 Schrauben eingedreht, A. dorsalis dextra u. A. palmaris sinistra gedrosselt
Versuch 5:	3 Schrauben eingedreht, beide Aa. palmares u. A. dorsalis sinistra gedrosselt
Versuch 6:	4 Schrauben eingedreht, alle Fingerarterien gedrosselt
Versuch 7:	4 Schrauben eingedreht, alle Fingerarterien gedrosselt, Entfernen der Drosselung n. 10 Min.

4.2.2. Feldversuche

Die thermographischen Untersuchungen der Hände von 30 Arbeitern aus verschiedenen Betrieben wurden im Rahmen einer Feldstudie des Forschungsprojektes (Kennzeichen 01 VD 0122) in der Zeit vom 9.1.1984 bis zum 23.3.1984 in dem eigens dafür hergerichteten Untersuchungsfahrzeug durchgeführt (DUPUIS und SOWA, 1984).

In dem untersuchten Kollektiv waren unterschiedliche Berufe vertreten, darunter 13 Gußputzer, 5 Motorsägenführer, 4 Arbeiter, 3 Werkzeugmacher, 2 Schweißer, 1 Fräser, 1 Schlosser und 1 Prüfer.

Das Lebensalter der Versuchspersonen lag im Bereich von 23 bis 50 Jahren mit einem Mittelwert $\bar{x} = 34.6$ Jahre und einer Standardabweichung $\pm s = 8.2$ Jahre.

Eine Übersicht der Altersverteilung zeigt Tabelle 5.

Tab. 5: Altersverteilung der Versuchspersonen im untersuchten Kollektiv

Alter (Jahre)	Anzahl (n)	Anteil (%)
< 23	0	0.0
23 - 30	11	36.7
31 - 40	10	33.3
41 - 50	9	30.0
> 50	0	0.0
23 - 50	30	100.0

Die Dauer der Berufstätigkeit lag im Bereich von 3 bis 23 Jahren mit einem Mittelwert $\bar{x} = 8.0$ Jahre und einer Standardabweichung $\pm s = 5.3$ Jahre.

Der Ablauf der Untersuchungen der Feldversuche wurde so gewählt, wie er im vorhergehenden Kapitel unter der Bezeichnung "Leerversuch" bereits angegeben wurde.

4.3. Auswertungsverfahren

Die aus den thermographischen Untersuchungen gewonnenen Meßdaten werden zunächst auf Disketten gespeichert. Diese Art der Datenverarbeitung ermöglicht eine zeitliche Trennung von Untersuchung und Auswertung. Daher ist man in der Lage, Messungen an mehreren Personen, z.B. im Rahmen einer Feldstudie, direkt nacheinander vornehmen zu können.

Zur späteren Auswertung dieser Daten wird das zum IKO-THERM-System des Instituts für Arbeits- und Sozialmedizin der Universität Mainz zugehörige Rechnerprogramm THERMOTOM (Fa. Software Partners GmbH, Darmstadt) eingesetzt. Dieses Programm ermöglicht unter anderem die Bestimmung von Temperaturprofilen über die gesamte Fingerlänge. Zu diesem Zweck muß vom Untersucher am Bildschirm eine Meßlinie so durch manuelle Eingabe festgelegt werden, daß sie auf dem interessierenden Finger zu liegen kommt. Der distale Meßpunkt (Referenzpunkt) entspricht dann dem Bereich der Fingerkuppe bzw. des Fingerendgliedes.

Aufgrund der Tatsache, daß die Analyse des Temperaturverlaufes an den Fingerkuppen wegen der dort vorhandenen relativ größten Kapillarnetzfläche und der relativ höchsten Anzahl von arteriovenösen Anastomosen am schnellsten und besten eine Aussage über die Wiedererwärmung des Fingers ermöglicht (SHEPHERD, 1980), wird die Auswertung auf diesen Bereich (Referenzpunkt) konzentriert.

Im weiteren Ablauf des THERMOTOM-Programmes werden die Temperaturverläufe der Finger im jeweiligen Referenzpunkt in Abhängigkeit von der Zeit bearbeitet (dynamische Auswertung). Dazu werden zunächst die Temperaturwerte der Referenzpunkte aller Finger jeder thermographischen Auf-

nahme chronologisch gespeichert und später sowohl in Form einer graphischen Darstellung als zeitabhängige Kurve der Temperaturverläufe der jeweiligen Fingerendglieder, als auch in Form einer Tabelle der Temperaturwerte zum jeweiligen Meßzeitpunkt ausgedruckt.

Ein Beispiel eines solchen Ausdruckes als Ergebnis der dynamischen Auswertung des THERMOTOM-Programms zeigen die Abbildungen 10 - 14 und Tabelle 6.

Das auf diese Weise erhaltene Datenmaterial wird im weiteren Verlauf für die in den folgenden Kapiteln beschriebene Auswertung der Labor- und Feldversuche verwendet.

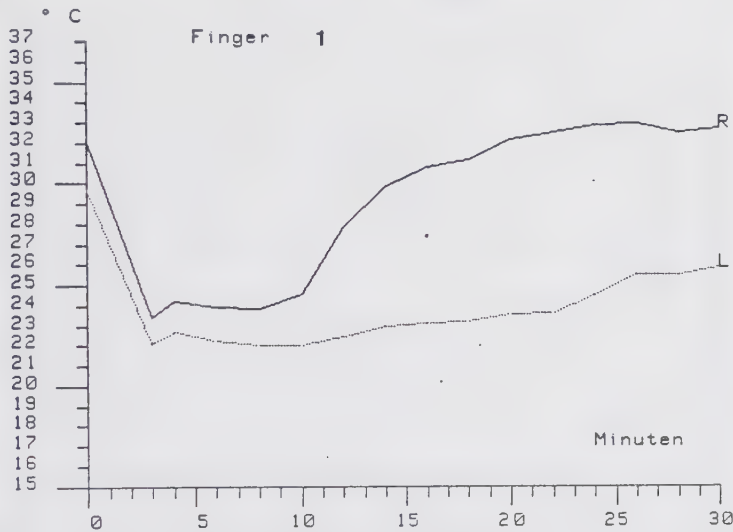


Abb. 10: Temperaturkurven Finger 1

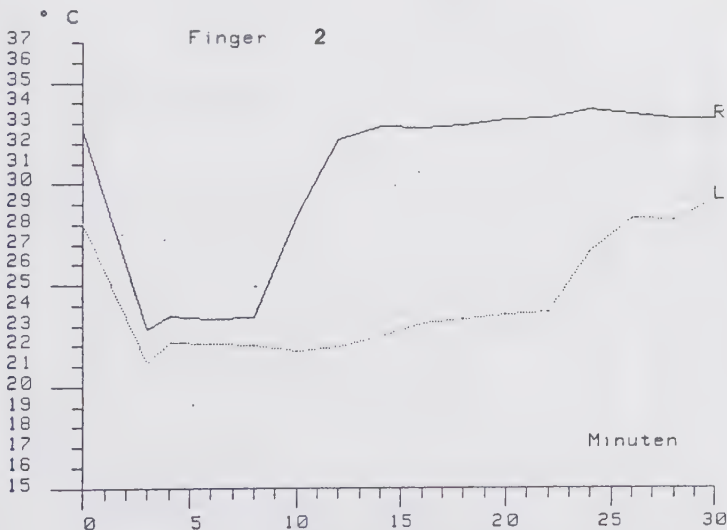


Abb. 11: Temperaturkurven Finger 2

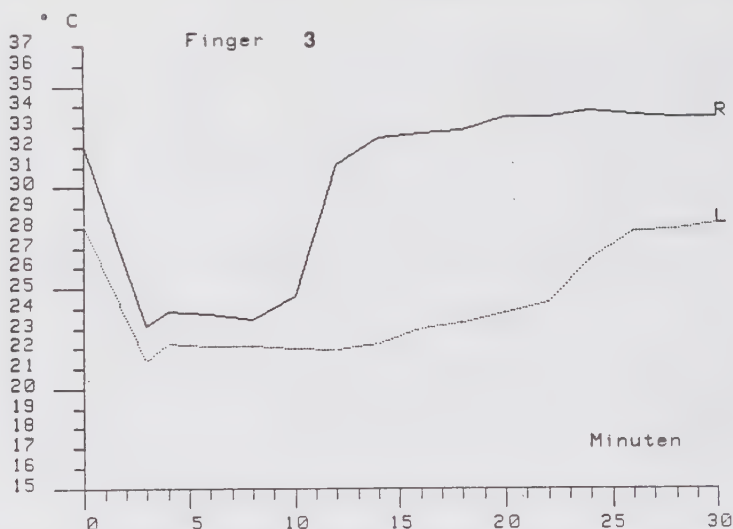


Abb. 12: Temperaturkurven Finger 3



Abb. 13: Temperaturkurven Finger 4

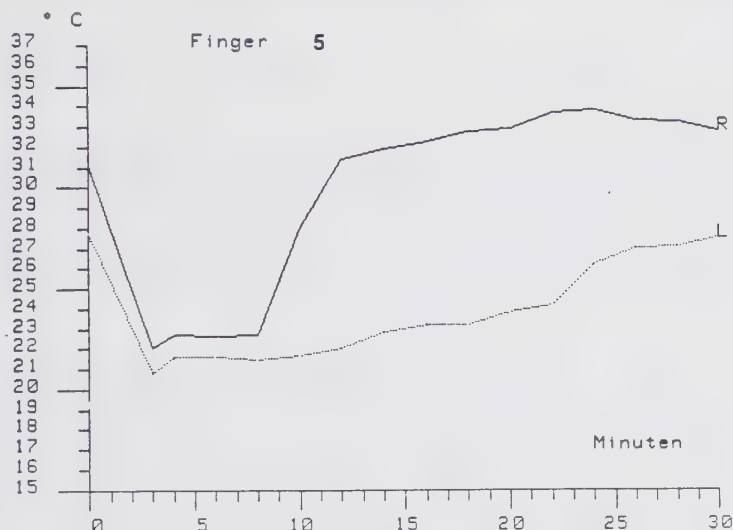


Abb. 14: Temperaturkurven Finger 5

Tab. 6: THERMOTOM Temperaturwerttabelle

INST. FUER ARBEITSMEDIZIN / UNIVERSITÄT MAINZ

**** THERMOTOM ****

25.01.85

2601401

Aufnr

120

Aufgenommen am 14.03.84

Tmax 33.9 °C

Range

10.0 °C

Zeit	L1	R1	L2	R2	L3	R3	L4	R4	L5	R5
0	29.7	32.1	28.1	32.6	28.2	32.1	29.6	33.1	27.7	31.1
3	22.1	23.4	21.2	22.8	21.4	23.1	20.8	22.0	20.8	22.0
4	22.7	24.2	22.2	23.5	22.3	23.8	22.2	22.7	21.6	22.7
6	22.3	23.9	22.1	23.4	22.1	23.7	22.0	22.4	21.6	22.6
8	22.0	23.9	22.0	23.4	22.1	23.4	21.8	22.3	21.5	22.7
10	22.1	24.6	21.8	28.5	22.0	24.6	21.8	27.8	21.7	28.1
12	22.5	27.8	22.0	32.2	21.9	31.0	22.3	31.0	22.0	31.4
14	23.0	29.9	22.5	32.9	22.2	32.3	24.0	31.8	22.8	31.9
16	23.1	30.8	23.1	32.8	22.9	32.6	25.6	32.7	23.2	32.3
18	23.2	31.2	23.3	32.9	23.2	32.7	25.7	33.0	23.2	32.8
20	23.6	32.2	23.6	33.2	23.7	33.4	27.0	33.4	23.9	32.9
22	23.6	32.6	23.7	33.3	24.2	33.4	27.7	33.8	24.2	33.8
24	24.5	32.9	26.7	33.7	26.3	33.7	28.6	33.7	26.2	33.9
26	25.5	33.0	28.4	33.5	27.7	33.5	29.4	32.7	27.0	33.4
28	25.5	32.6	28.3	33.3	27.8	33.3	29.2	33.1	27.1	33.3
30	25.9	32.8	29.3	33.3	28.0	33.3	29.3	32.8	27.5	32.8

4.3.1. Laborversuche

Die weitere Auswertung der Laborversuche mit Variationen der Gefäßdrosselung an einem Finger bezog sich auf die vom THERMOTOM-Programm gelieferten Ausdrucke, die im vorangegangenen Kapitel bereits eingehend erläutert und dargestellt wurden.

Zunächst wurde nach objektiven Werten gesucht, mit Hilfe derer die Temperaturverlaufskurve der Wiedererwärmung der Fingerendglieder nach Kälteprovokation beschrieben werden kann. Zu diesem Zweck wurden die folgenden beiden Kriterien definiert, die eine objektive Aussage über das Verhalten der Wiedererwärmung ermöglichen:

- 1) "maximale Steigung der Phase relativ stärkster Erwärmung" S_{max} ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)
- 2) "Zeitpunkt des Beginns dieser stärksten Erwärmungsphase" Z (min)

Anhand dieser beiden Charakteristika wurden die 14 Versuche der Gefäßdrosselung ausgewertet, indem zuerst mit Hilfe der Werte der Temperaturtabelle des entsprechenden Fingers (Tab. 6) die Temperaturdifferenzen zwischen zwei thermographischen Aufnahmen berechnet wurden.

Anschließend wurde der größte dieser Werte als S_{max} bezeichnet und unter Berücksichtigung des jeweiligen Zeitintervalls in die Dimension $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ umgerechnet.

Als jeweils zugehöriger Zeitpunkt des Beginns dieser relativ stärksten Erwärmung, die in der grafischen Darstellung der größten Anstiegsteilheit (Steigung) der Kurve entspricht, wurde der Zeitpunkt derjenigen thermographischen Aufnahme gewählt, die dieser maximalen Temperaturdifferenz

unmittelbar vorausgeht.

Als zusätzliches Kriterium wurde festgelegt, daß nur die Streckenabschnitte der Temperaturverlaufskurve mit positiver Steigung berücksichtigt werden, um nicht fälschlicherweise Temperaturdifferenzen auszuwerten, die durch Abkühlung entstehen, z.B. während der Kälteprovokation.

4.3.2. Feldversuche

Aufbauend auf der im vorangegangenen Kapitel beschriebenen Auswertung und den daraus resultierenden Ergebnissen wurden für die Auswertung der Feldversuche weitere Kriterien definiert, die im folgenden näher erläutert werden.

Unter Annahme unterschiedlicher Werte für die beiden Kriterien S_{max} und Z können die Temperaturkurven der Wiedererwärmung nach Kälteprovokation theoretisch 5 verschiedene Verläufe aufweisen (Tab. 7).

Tab. 7: Verlaufsmöglichkeiten der Temperaturkurven
in Abhängigkeit von Z (min) und S_{max} ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)

- 1) Z klein , S_{max} groß ;
früh beginnende Erwärmung ,starker Temperaturanstieg
- 2) Z mittel, S_{max} mittel;
mittelfrüh beginnende Erwärmung,mittlerer Temp.anstieg
- 3) Z klein , S_{max} klein;
früh beginnende Erwärmung, schwacher Temperaturanstieg
- 4) Z groß , S_{max} groß ;
spät beginnende Erwärmung, starker Temperaturanstieg
- 5) Z groß , S_{max} klein;
spät beginnende Erwärmung, schwacher Temperaturanstieg

Abgeleitet aus obigen Überlegungen erfolgte eine Einteilung der Wiedererwärmung nach Kälteprovokation in 5 verschiedene Erwärmungstypen.

Zu diesem Zweck wurde in einem Koordinatensystem auf der Ordinate S_{max} und auf der Abszisse Z aufgetragen. Bei der

Wahl der Einheiten wurden für Smax die Ergebnisse der Laborversuche berücksichtigt, bei denen Werte bis ca. 4 °C/min auftraten. Z konnte wegen der vorgegebenen Untersuchungsdauer Werte bis 30 Minuten annehmen, so daß die Abszisse entsprechend eingeteilt wurde.

Über die Fläche wurden dann die 5 oben genannten Erwärmungstypen als Punkte im Koordinatensystem nach symmetrischen Gesichtspunkten verteilt (Abb. 15).

Da über die Qualität der Wiedererwärmung innerhalb des mittleren Bereichs keine differenzierten Aussagen möglich sind, erfolgte eine Unterteilung in drei Hauptgruppen 1, 2 und 3, wobei Gruppe 2 aus drei gleichwertigen Untergruppen besteht, über deren "Güte" keine genaue Unterscheidung getroffen werden kann.

Das Ergebnis dieser Einteilung des Temperaturkurvenverlaufes in 5 Erwärmungstypen, abhängig von den Kriterien Smax und Z, zeigen Tabelle 8 und Abbildung 15.

Tab. 8: Einteilung des Wiedererwärmungsverhaltens nach Kälteprovokation in verschiedene Erwärmungstypen

Erwärmungstyp	Koordinaten		Bedeutung
	Z(min)	Smax(°C/min)	
1	7.5	2,5	früh beginnende Erwärmung starker Temperaturanstieg
2A	15.0	1,5	mittelfrüh beginnende Erwärmung mittlerer Temperaturanstieg
2B	7.5	0,5	früh beginnende Erwärmung schwacher Temperaturanstieg
2C	22.5	2,5	spät beginnende Erwärmung starker Temperaturanstieg
3	22.5	0,5	spät beginnende Erwärmung schwacher Temperaturanstieg

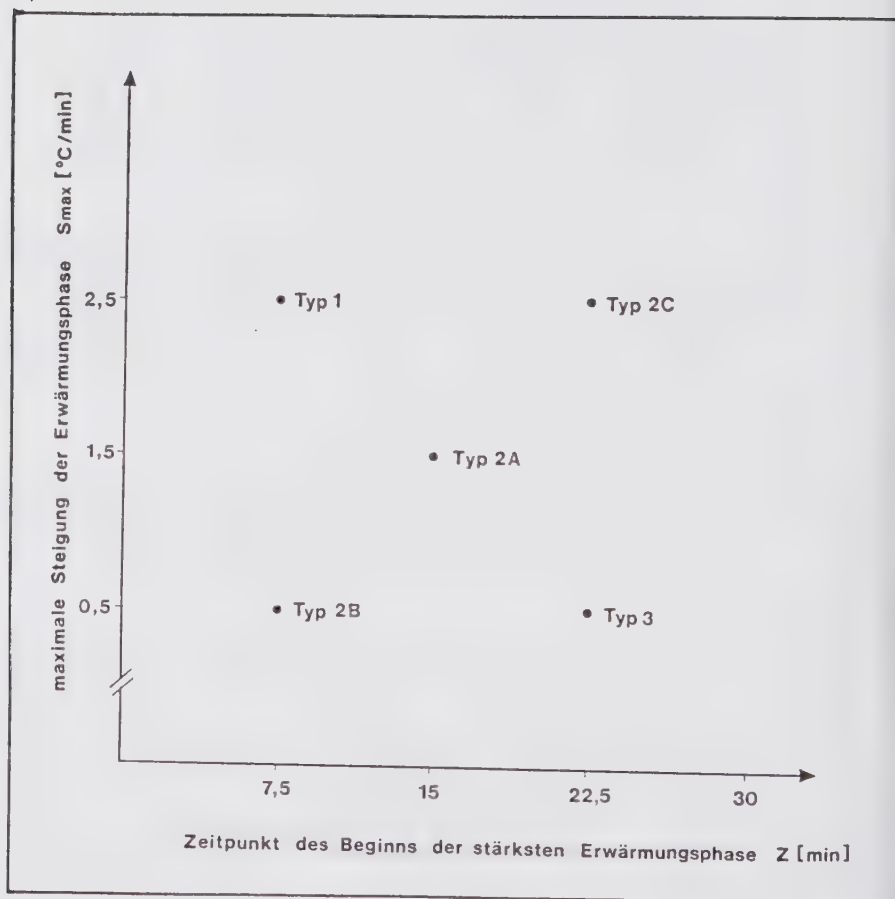


Abb. 15: Verteilung der Erwärmungstypen
im Koordinatensystem

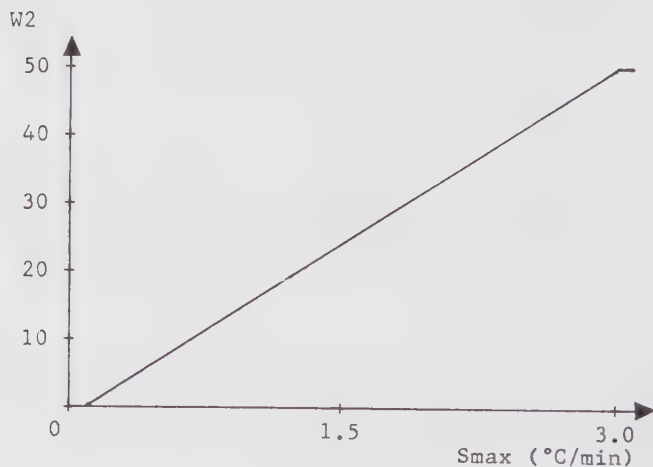
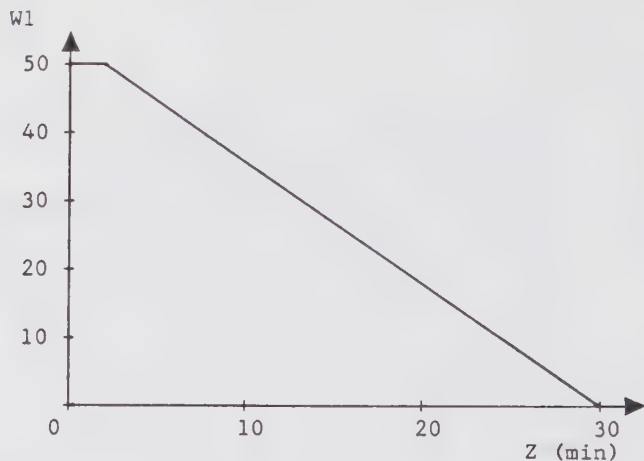
Als zusätzliches Kriterium zur Charakterisierung der Qualität einer Wiedererwärmung mit Hilfe einer einzigen Zahl wurde der Wert D eingeführt.

Dieser Wert D stellt eine dimensionslose Zahl zwischen 0 und 100 dar, der aus zwei Einzelwerten addiert wird, die beide wiederum von der Anstiegssteilheit ($S_{\max}$) der relativ stärksten Erwärmungsphase und dem Zeitpunkt ihres Beginns (Z) nach den in Abbildung 16 angegebenen mathematischen Bedingungen abhängig sind.

Wie aus dieser Abbildung zu entnehmen ist, nimmt der Wert D einen umso höheren Betrag an, je größer $S_{\max}$ und je kleiner Z ist, d.h. je steiler der Anstieg der Phase der relativ stärksten Erwärmung verläuft und je früher diese Phase einsetzt.

Für die Auswertung der Feldversuche wurde ein Computerprogramm entwickelt, das eine Auswertung des Wiedererwärmungsverhaltens der Fingerendglieder aller 10 Finger einer Versuchsperson nach den oben erwähnten Kriterien vornimmt..

Dieses Computerprogramm wird im nächsten Kapitel näher erläutert.



	(min)	
	$Z \leq 2$	$W1 = 50$
$W1$	$2 < Z < 30$	$W1 = -1.78 * Z + 53.57$
	$Z \geq 30$	$W1 = 0$

	($^{\circ}\text{C}/\text{min}$)	
	$S \leq 0.1$	$W2 = 0$
$W2$	$0.1 < S < 3.0$	$W2 = 5.26 * S - 2.6$
	$S \geq 3.0$	$W2 = 50$

$$D = W1 + W2$$

=====

Abb. 16: Berechnungskriterien des Wertes D

4.3.2.1. Auswertungsprogramm für Feldversuche

Für die Auswertung der Feldversuche wurde ein Programm für den Commodore 64 entwickelt. Dieses Programm ermöglicht die Auswertung der Wiedererwärmung der Fingerendglieder aller 10 Finger einer Versuchsperson nach Kälteprovokation aufgrund der in dem vorhergehenden Kapitel definierten Kriterien und liefert als Ergebnis einen Protokollausdruck, der eine übersichtliche Dokumentation der Untersuchungen auch einer größeren Anzahl von Versuchspersonen ermöglicht.

Eine Übersicht des Programmablaufes bietet das Flußdiagramm in Abbildung 17.

Es wurden 2 verschiedene Wege der Auswertung vorgesehen, die von unterschiedlichen Ausgangsdaten ausgehen und im folgenden mit den beiden Begriffen "Handeingabe" und "Automatik" bezeichnet werden.

1) Handeingabe

Bei Benutzung dieses Auswertungsweges dienen als Ausgangsdaten die vom THERMOTOM - Programm gelieferten Temperaturverlaufskurven (Abb. 10 - 14).

Von der auswertenden Person muß zunächst mit Hilfe von Lineal und Bleistift der Zeitpunkt des Beginns der relativ stärksten Erwärmungsphase festgelegt und eine dem Anstieg der Kurve anliegende Achse eingezeichnet werden. Anschließend wird der Winkel dieser Achse zur Abszisse mit einem Winkelmesser bestimmt.

Die auf diese grafische Weise ermittelten Werte werden in eine Tabelle eingetragen, die anschließend in den Rechner

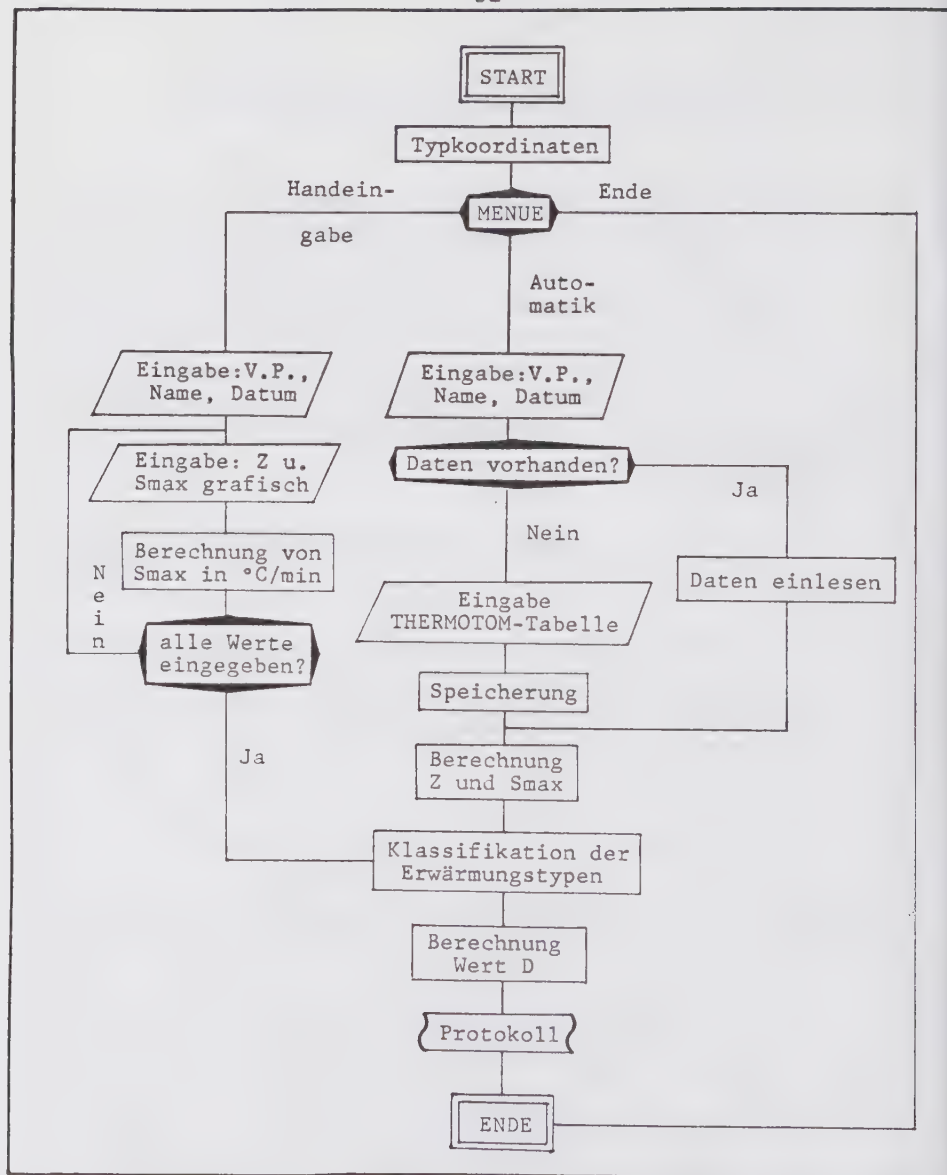


Abb. 17: Flußdiagramm des Auswertungsprogramms

eingegeben werden kann. Im Programmablauf werden dann die Werte der Steigung in Winkelgraden umgerechnet in die entsprechenden Werte für $S_{\max}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$).

Ein Beispiel dieses Verfahrens zur Ermittlung von Z und Steigungswinkel W zeigen die Abbildungen 18 - 22 und Tabelle 9.

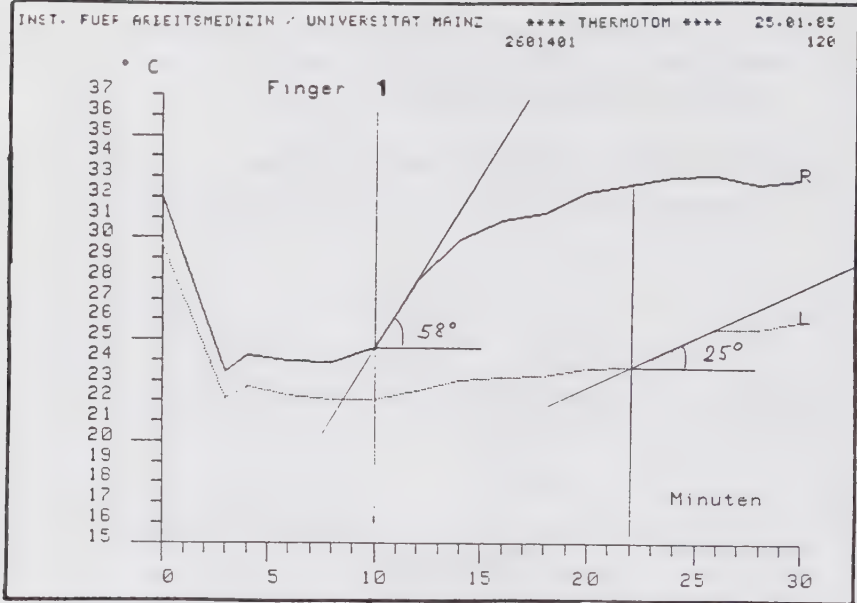


Abb. 18: grafische Bestimmung von Z und W Finger 1

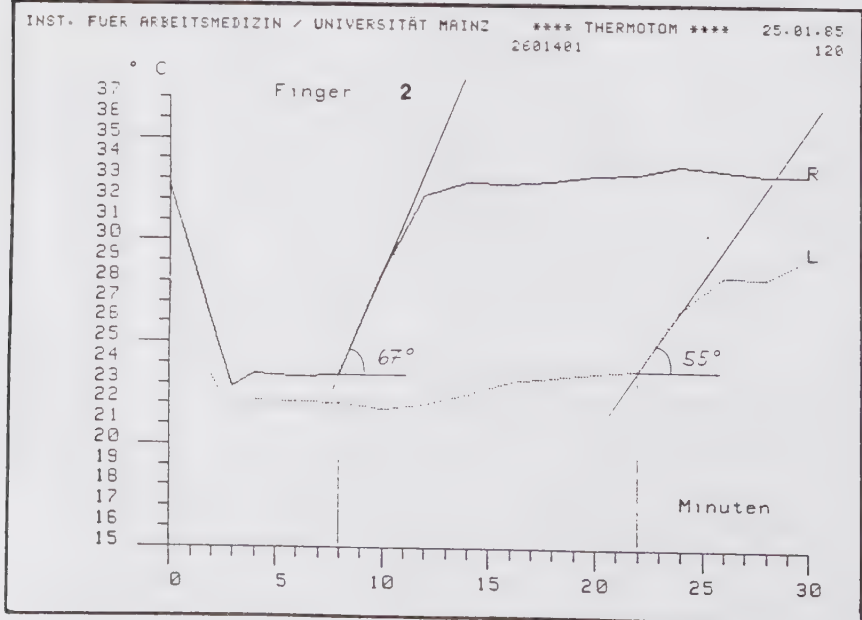


Abb. 19: grafische Bestimmung von Z und W Finger 2

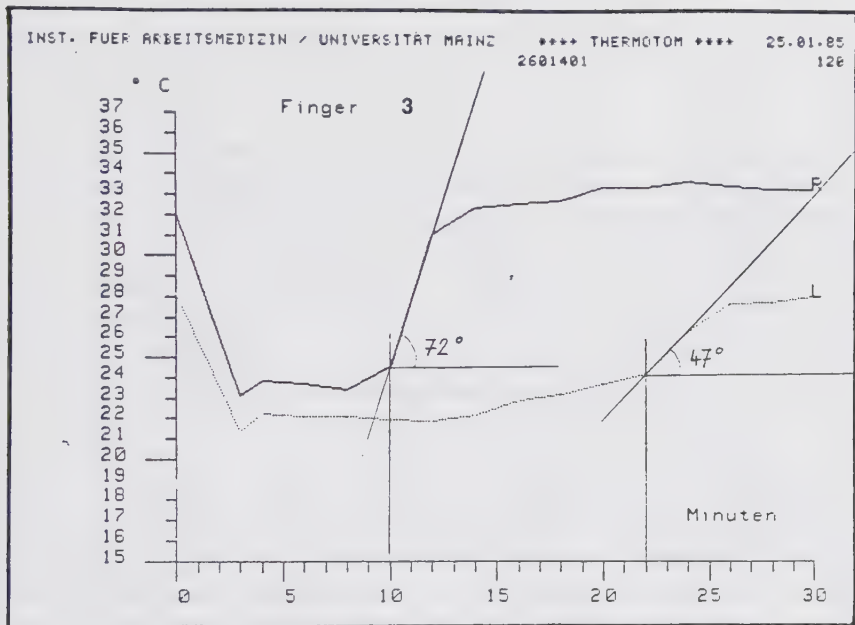


Abb. 20: grafische Bestimmung von Z und W Finger 3

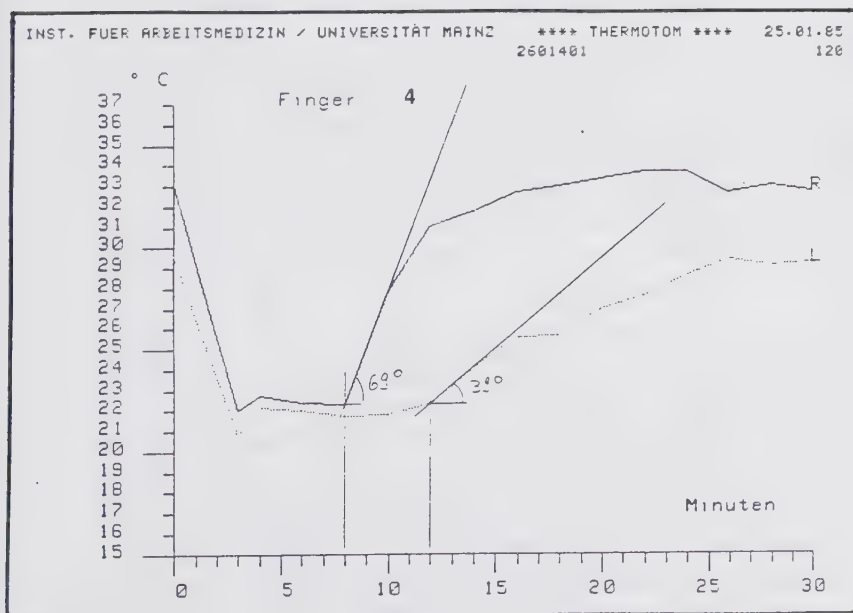


Abb. 21: grafische Bestimmung von Z und W Finger 4

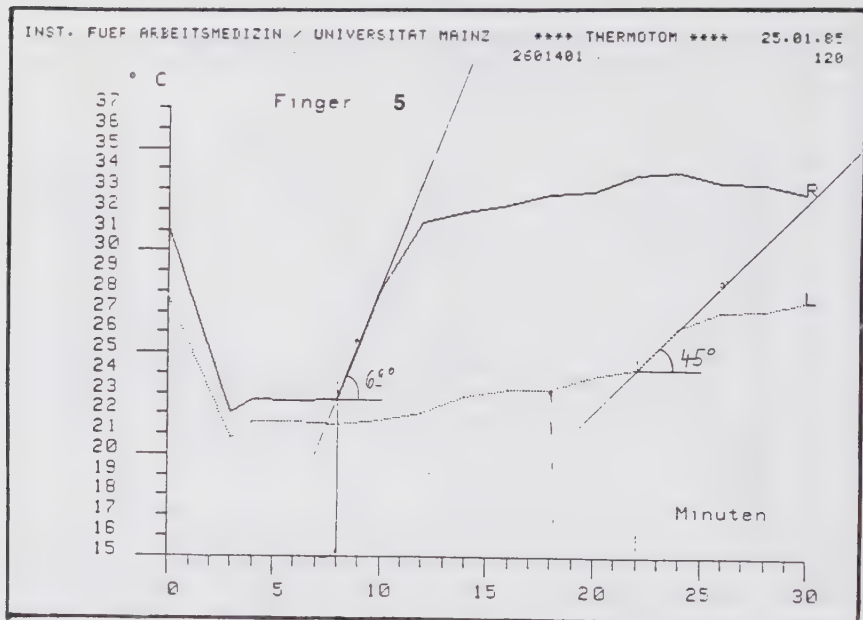


Abb. 22: grafische Bestimmung von Z und W Finger 5

Tab. 9: Beispiel einer durch Handauswertung erstellten Datentabelle nach den Abb. 18-22

Nummer	Finger	Z (min)	W (Winkel)
1	L5	22	45
2	L4	12	39
3	L3	22	47
4	L2	22	55
5	L1	22	25
6	R1	10	58
7	R2	8	67
8	R3	10	72
9	R4	8	69
10	R5	8	69

2) Automatik

Bei Benutzung des mit "Automatik" bezeichneten Auswertungsweges müssen die Temperaturwerte der vom THERMOTOM - Programm ausgedruckten Tabelle (Tab.10) eingegeben und gespeichert werden, bzw. die eventuell schon gespeicherten Daten eingelesen werden.

Anschließend werden vom Rechner nach den bereits beschriebenen Kriterien die beiden Charakteristika S_{max} ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$) und Z (min) berechnet.

Tab. 10: Temperaturtabelle des THERMOTOM-Programms

INST. FUER ARBEITSMEDIZIN / UNIVERSITÄT MAINZ **** THERMOTOM **** 25.01.85										
2601401 Aufnr 120										
Aufgenommen am 14.03.84 Tmax 33.9 $^{\circ}\text{C}$ Range 10.0 $^{\circ}\text{C}$										
Zeit	L1	R1	L2	R2	L3	R3	L4	R4	L5	R5
0	29.7	32.1	28.1	32.6	28.2	32.1	29.6	33.1	27.7	31.1
3	22.1	23.4	21.2	22.8	21.4	23.1	20.8	22.0	20.8	22.0
4	22.7	24.2	22.2	23.5	22.3	23.8	22.2	22.7	21.6	22.7
6	22.3	23.9	22.1	23.4	22.1	23.7	22.0	22.4	21.6	22.6
8	22.0	23.9	22.0	23.4	22.1	23.4	21.8	22.3	21.5	22.7
10	22.1	24.6	21.8	28.5	22.0	24.6	21.6	27.6	21.7	28.1
12	22.5	27.8	22.0	32.2	21.9	31.0	22.3	31.8	22.2	31.4
14	23.0	29.9	22.5	32.9	22.2	32.3	24.0	31.8	22.6	31.9
16	23.1	30.8	23.1	32.8	22.9	32.6	25.6	32.7	23.2	32.3
18	23.2	31.2	23.3	32.9	23.2	32.7	25.7	33.0	23.2	32.6
20	23.6	32.2	23.6	33.2	23.7	33.4	27.0	33.4	23.9	32.9
22	23.6	32.6	23.7	33.3	24.2	33.4	27.7	33.8	24.2	33.8
24	24.5	32.9	26.7	33.7	26.3	33.7	28.6	33.7	26.2	33.9
26	25.5	33.0	28.4	33.5	27.7	33.5	29.4	32.7	27.0	33.4
28	25.5	32.6	28.3	33.3	27.8	33.3	29.2	33.1	27.1	33.3
30	25.9	32.8	29.3	33.3	28.0	33.3	29.3	32.8	27.5	32.8

Der weitere Programmablauf ist bei beiden Auswertungswegen gleich.

Zunächst wird nach dem mathematischen Prinzip der "minimalen Abweichungsquadrate" dem Erwärmungsverhalten eines jeden Fingers der entsprechende Erwärmungstyp 1, 2A, 2B, 2C oder 3 zugeordnet (Abb. 15, Tab. 8). Anschließend wird der entsprechende Wert D gemäß den in Abbildung 16 be-

schriebenen Bedingungen errechnet.

Für den Wert D ist noch die Angabe eines "Normbereiches" vorgesehen, dessen Grenzen vom Untersucher definiert werden können.

Da noch keine Angaben über einen solchen "Normbereich" existieren, wird folgende Definition vorgeschlagen:

untere Grenze = Mittelwert - Standardabweichung

obere Grenze = Mittelwert + Standardabweichung

Ausgehend von den Ergebnissen der Auswertungen der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten 300 Finger (Kapitel Ergebnisse) wurde nach Abrunden für die praktische Anwendung definiert, daß Werte für D von 46 und kleiner sowie 88 und größer außerhalb des "Normbereiches" liegen. Diese Grenzen wurden in das Auswertungsprogramm aufgenommen und gespeichert.

Beide Auswertungsvarianten liefern als Endausgabe ein Untersuchungsprotokoll (Abb. 23), das im folgenden Kapitel erläutert wird.

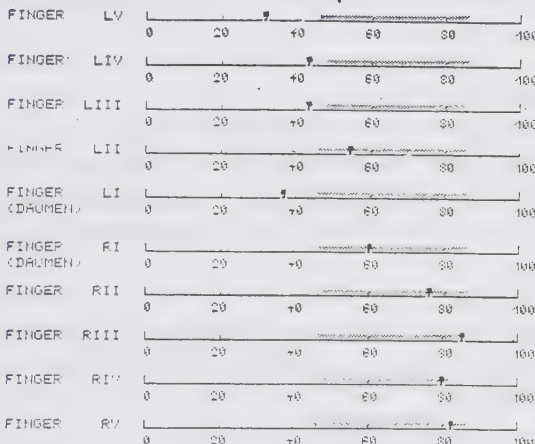
1

THERMOGRAPHISCH ERMITTELTE ERWÄRMUNG DER FINGERENDGLIEDER

2

U.P. 120
NAME
VORNAME
DATUM DER
UNTERSUCHUNG 14.03.84

5



7

BEI DIESER PERSON WIRD EINE AUSWERTUNG VON ALLEN STELLEN DER HANDBEFLÄCHE EMPFOHLEN

8

LEGENDE

- D DYNAMISCHER PARAMETER, DER VON DER ZEIT DES BEGINNS DER SCHNELLEN ERWÄRMUNG UND DEM MAXIMALER TEMPERATURANSTIEG ABHÄNGIG IST
- TYP 1 ERWÄRMUNG NACH KURZER ZEIT MIT STARKEM TEMPERATURANSTIEG
- TYP 2A ERWÄRMUNG NACH MITTELERER ZEIT MIT MITTELEREM TEMPERATURANSTIEG
- TYP 2B ERWÄRMUNG NACH KURZER ZEIT MIT SCHWACHEM TEMPERATURANSTIEG
- TYP 2C ERWÄRMUNG NACH LÄNGERER ZEIT MIT STARKEM TEMPERATURANSTIEG
- TYP 3 ERWÄRMUNG NACH LÄNGERER ZEIT MIT SCHWACHEM TEMPERATURANSTIEG

Abb. 23: Untersuchungsprotokoll (Originalgröße DIN A4)

4.3.2.2. Beschreibung des Untersuchungsprotokolls

Das im vorhergehenden Kapitel beschriebene Computerprogramm zur Auswertung der thermographischen Untersuchungen liefert für jede Versuchsperson einen Protokollausdruck (Abb. 23), dessen Inhalt im folgenden näher erläutert wird.

Die in Abbildung 23 zur Kennzeichnung verwendeten Ziffern stimmen jeweils mit denen der zugehörigen Erläuterung überein.

1) Überschrift

Der Titel des Protokollausdrucks informiert über Art (thermographisch), Gegenstand (Erwärmung) und Körperregion (Fingerendglieder) der Untersuchung.

2) Protokollkopf

Es werden Daten der Versuchsperson und das Datum der Untersuchung angegeben, um eine korrekte Dokumentation zu ermöglichen.

3) Wert D

Der Wert D ist eine dimensionslose Zahl zwischen 0 und 100, die ein quantitatives Merkmal für die Güte der Wiedererwärmung nach einem KPT darstellt. Er wurde bereits eingehend erläutert (Abb. 16).

Der dem jeweiligen Finger zugehörige Wert D wird sowohl als Zahl ausgedruckt, als auch zusätzlich mit einem Pfeil auf einer Skala markiert.

4) "Normbereich" des Wertes D

Der in den Skalen der einzelnen Finger mittels eines schraffierten Balkens dargestellte "Normbereich" des

Wertes D wurde aus dem Kollektiv der untersuchten 300 Finger nach den bereits angegebenen Kriterien bestimmt.

5) Finger L5 - R5

Für jeden Finger, der durch Angabe der Hand (L oder R) und Ziffern 1-5 eindeutig festgelegt ist, wird eine Skala für den Wert D angegeben, auf der sowohl der Wert D des jeweiligen Fingers (Pfeil), als auch der "Normbereich" der Werte D des untersuchten Kollektivs (schraffierter Balken) eingetragen sind.

6).Erwärmungstyp

Nach dem Prinzip der "minimalen Abweichungsquadrate" wird dem Erwärmungsverhalten eines jeden Fingers der entsprechende Typ 1, 2A, 2B, 2C oder 3 zugeordnet, welche schon im Kapitel Auswertungsverfahren beschrieben wurden (Abb. 15, Tab. 8).

7) Text

Der unter den Skalen der 10 Finger angegebene Text umfaßt 4 verschiedene Variationen, je nach Lage der Finger zum "Normbereich".

- wenn alle Finger innerhalb des "Normbereichs" liegen: "normale Gefäßreaktion aller Finger"
- wenn mindestens 1 Finger unterhalb des "Normbereichs" liegt: "Bei dieser Person wird eine Auswertung von allen Stellen der Handoberfläche empfohlen"
- wenn alle Finger unterhalb des "Normbereichs" liegen, wird zunächst die Frage gestellt: "Lag die Raumtemperatur während des KPT immer zwischen 22 und 24 Grad C?".

Bei Eingabe von "Ja" lautet der Text: "Wiederholen Sie den Test bei den angegebenen Bedingungen!"

Bei Eingabe von "Nein" lautet der Text: "Wiederholen Sie den Test mit 15 Grad C Wassertemperatur und Exposi-

tionszeit von 30 Sekunden."

8) Legende

In der Legende am unteren Rand des Untersuchungsprotokolls werden der Parameter D und die Erwärmungstypen 1, 2A, 2B, 2C und 3 noch einmal orientierend erklärt.

4.4. Ergebnisse

4.4.1. Ergebnisse der Laborversuche

Die Ergebnisse der in einem vorangegangenen Kapitel erläuterten Auswertung der thermographischen Untersuchungen bei Gefäßdrosselung eines Fingers nach den beiden Kriterien S_{max} (C/min) und Z (min) zeigen Tabelle 11 und die Abbildungen 24 - 26.

Sie bildeten die Grundlage für die spätere Entwicklung des Computerprogramms zur Auswertung der Feldversuche und werden im folgenden näher dargestellt.

In Versuch 1 (ohne Drosselung) setzte die Phase der relativ stärksten Wiederwärmung nach der Kälteprovokation in beiden Fällen prompt ein (3. bzw. 4. Minute) und erreichte Maximalwerte um 4 Grad C pro Minute (4.4 bzw 3.8 C/min).

Versuch 2, in dem nur 1 Gefäß gedrosselt wurde (A. dorsalis sinistra), bewirkte ein etwas verzögertes Einsetzen der Phase relativ stärkster Wiedererwärmung (6. bzw. 8. Minute) und auch eine geringere Anstiegssteilheit der Temperaturverlaufskurve (2.7 bzw. 2.3 C/min).

Bei der Drosselvariation 3 (A. palmaris dextra), bei der ebenfalls nur ein Gefäß geschlossen wurde, zeigte sich keine deutliche zeitliche Verzögerung des Beginns der stärksten Erwärmungsphase (4. Minute), jedoch eine Reduktion der Steigung in einen Bereich wie in Versuch 2 (2.35 bzw. 2.2 C/min).

Die Drosselung von 2 Gefäßen (Versuch 4) (A. dorsalis dextra und A. palmaris sinistra) hatte bei beiden Versuchspersonen einen frühen bzw. etwas verzögerten Beginn der

Wiedererwärmung zur Folge (4. Minute) mit Steigungswerten in der Größenordnung der Versuche 2 und 3 (2.25 bzw. 2.35 C/min).

Der experimentellem Verschuß von 3 Gefäßen eines Fingers (Versuch 5) zeigte eine deutliche Einschränkung der Möglichkeit der Wiedererwärmung des Fingers nach Kälteprovokation. Dies äußerte sich vor allem in dem verzögerten Beginn der starken Erwärmungsphase (18. bzw. 12. Minute). Dagegen konnte eine deutlich ausgeprägte Reduktion der Steigung nur bei einer Versuchsperson gefunden werden (1.5 C/min), während diese bei der zweiten Versuchsperson weniger deutlich ausfiel (2.25 C/min).

Die Versuche, die eine komplette Okklusion aller 4 Fingergefäße bewirkten (Versuch 6), erbrachten bei beiden Versuchspersonen eine erst spät einsetzende Phase relativ stärkster Erwärmung (22. Minute) mit schwachem Temperaturanstieg (0.1 C/min).

Durch die Versuchsvarianten mit Entfernung der Drosselung nach der 10. Minute (Versuch 7) ließ sich bei beiden Versuchspersonen eine unmittelbar danach einsetzende starke Wiedererwärmungsphase bewirken (12. bzw. 11. Minute), wobei jedoch die Anstiegsgeschwindigkeiten einen deutlichen Unterschied aufwiesen (4.5 bzw. 1.2 C/min).

Tab. 11: Ergebnisse der Laborversuche

Versuch (Tab.4)	Proband I		Proband II	
	Z (min)	S _{max} (°C/min)	Z (min)	S _{max} (°C/min)
1	3	4.4	4	3.8
2	6	2.7	8	2.3
3	4	2.35	4	2.2
4	4	2.25	6	2.35
5	18	1.5	12	2.25
6	22	0.1	22	0.1
7	12	4.5	11	1.2

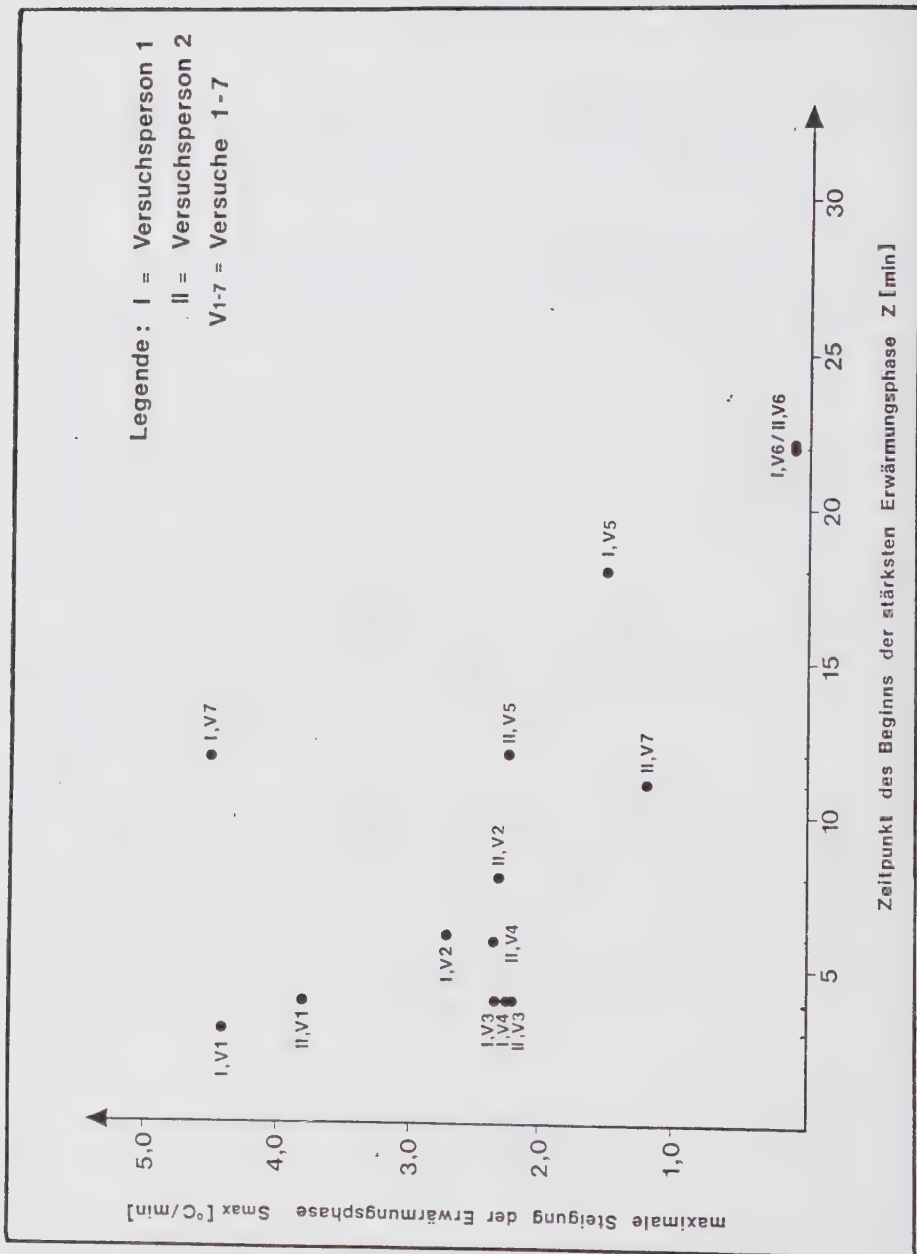


Abb. 24: Übersicht der nach Kälteprovokation gemessenen Werte für maximale Steigung der Erwärmungsphase S_{max} (°C/min) und Zeitpunkt des Beginns der stärksten Erwärmungsphase Z (min) der Ringfingerendglieder beider Versuchspersonen

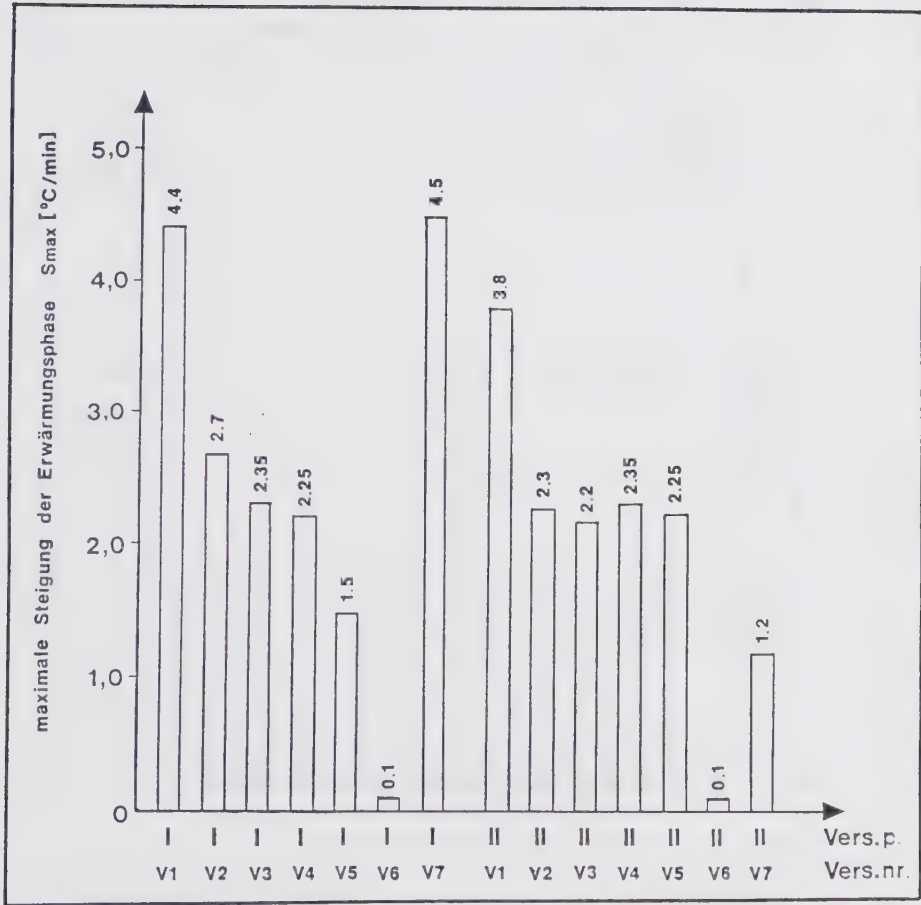


Abb. 25: Ergebnisse der Laborversuche
 $S_{\max}$ der Erwärmungsphase

Übersicht der nach Kälteprovokation gemessenen Werte für die maximale Steigung der Erwärmungsphase $S_{\max}$ ($^{\circ}\text{C}/\text{min}$) der Ringfingerendglieder beider Versuchspersonen

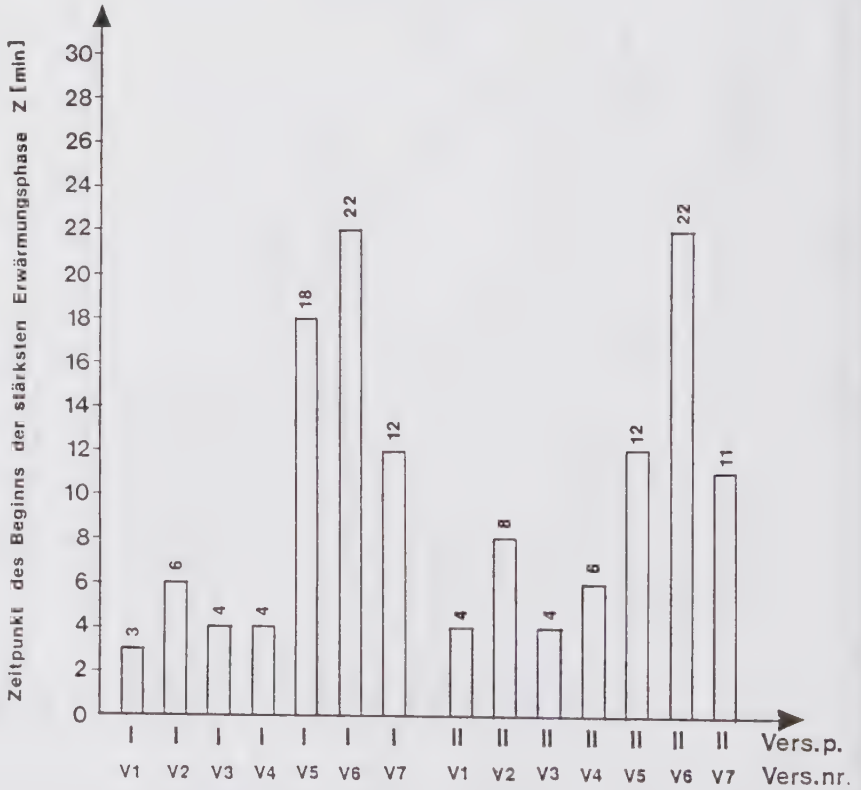


Abb. 26: Ergebnisse der Laborversuche
Beginn Z der Erwärmungsphase

Übersicht der nach Kälteprovokation gemessenen Werte für den Zeitpunkt des Beginns der stärksten Erwärmungsphase Z (min) der Ringfingerendglieder beider Versuchspersonen

4.4.2. Ergebnisse der Feldversuche

Im Rahmen dieser Arbeit wurden 30 Personen thermographisch untersucht. Die anschließende Auswertung mit Hilfe des beschriebenen Computerprogramms lieferte 30 Protokollausdrucke (Abb.23), auf denen für jeden Finger der Wert D, die Lage des Wertes D bezüglich des "Normbereiches" dieses Kollektivs und der Erwärmungstyp angegeben sind. Auf diese Weise liegen Ergebnisse von einem Kollektiv von 30 Versuchspersonen mit 300 ausgewerteten Fingern vor.

1) personenbezogene Auswertung

Entsprechend der in der Literatur angegebenen Diagnosekriterien des VVS wurde ein Proband als "gesund" eingestuft, wenn sich alle seine Finger normal wiedererwärmten, als "krank", wenn auch nur 1 Finger pathologisch reagierte (WOELKE-SEIDL, 1982).

Der in den Skalen der einzelnen Finger mittels eines aufgelegten schraffierten Balkens dargestellte "Normbereich" des Wertes D wurde aus dem Kollektiv der 300 untersuchten Finger wie folgt berechnet, bzw. definiert:

Gesamtzahl der Finger:	300.00
Summe aller Werte D :	20235.00
Mittelwert :	67.45
Standardabweichung :	20.59
Varianz :	422.55

Da noch keine vergleichbare Angaben über einen "Normbereich" des Wertes D existieren, wurden, wie bereits beschrieben, die Grenzen des "Normbereichs" nach folgender,

einfach anzuwendender Definition festgelegt:

untere Grenze = Mittelwert - Standardabweichung

obere Grenze = Mittelwert + Standardabweichung

Gemäß dieser vorgegebener Rechenvorschrift ergaben sich als untere Grenze ein Wert D von 46.86 und als obere Grenze ein Wert D von 88.04.

Nach Abrunden wurde für die praktische Anwendung definiert, daß Werte für D von 46 und kleiner bzw. 88 und größer außerhalb des "Normbereiches" liegen.

Für die vorliegende Auswertung bedeutete dies, daß sich bei "gesunden" Probanden der errechnete Wert D innerhalb des "Normbereiches" befinden mußte, d.h. einen Wert größer als 46 annahm. Als "krank" galten demnach Werte für D kleiner oder gleich 46.

Von den 30 untersuchten Personen erwiesen sich in diesem Sinne als "gesund" 18 (60%) und als "krank" 12 (40%) (Abb. 27).

Unter den 12 "Kranken" war bei 3 Personen jeweils 1 Finger, bei 5 Personen jeweils 2 Finger, bei 1 Person 4 Finger, bei 1 Person 8 Finger und bei 2 Personen jeweils 9 Finger betroffen.

2) fingerbezogene Auswertung

Aus der Gesamtheit von 300 untersuchten Fingern erwiesen sich 43 (14,3%) als "krank". Davon entfielen auf die linke Hand 27 Finger (9%) und auf die rechte Hand 16 Finger (5.3%) (Abb. 28).

Am häufigsten befallen waren Finger L 3 (7 = 16.28%), Finger L 5 (6 = 13.95%), Finger L 1 (6 = 13.95%).

Am wenigsten befallen war der rechte Daumen (Finger R 1)

(2 = 4.65%).

3) typenbezogene Auswertung

Die verschiedenen Erwärmungstypen 1, 2A, 2B, 2C, 3, die bereits eingehend erklärt worden sind (Abb. 15) wurden unterschiedlich häufig bestimmt (Tab. 12 und Abb. 29).

Tab. 12: Häufigkeit der Erwärmungstypen

Typ 1	bei 175 Fingern (58,3%)
Typ 2A	bei 23 Fingern (7,6%)
Typ 2B	bei 84 Fingern (28,0%)
Typ 2C	bei 1 Finger (0,3%)
Typ 3	bei 17 Fingern (5,6%)

Summe 300 Finger (100.0%)	
=====	

Die durchschnittlichen D-Werte der jeweils einem bestimmten Erwärmungstyp zugeordneten Finger wurden wie folgt errechnet (Tab. 13):

Tab. 13: Mittelwerte $\bar{D}$ der verschiedenen Erwärmungstypen mit Standardabweichung $\pm S$

Erwärmungstyp	Fingerzahl	$\bar{D}$	$\pm S$
Typ 1	175	81.17	8.99
Typ 2A	23	38.65	9.80
Typ 2B	84	55.55	10.35
Typ 2C	1	47.00	
Typ 3	17	6.88	9.99

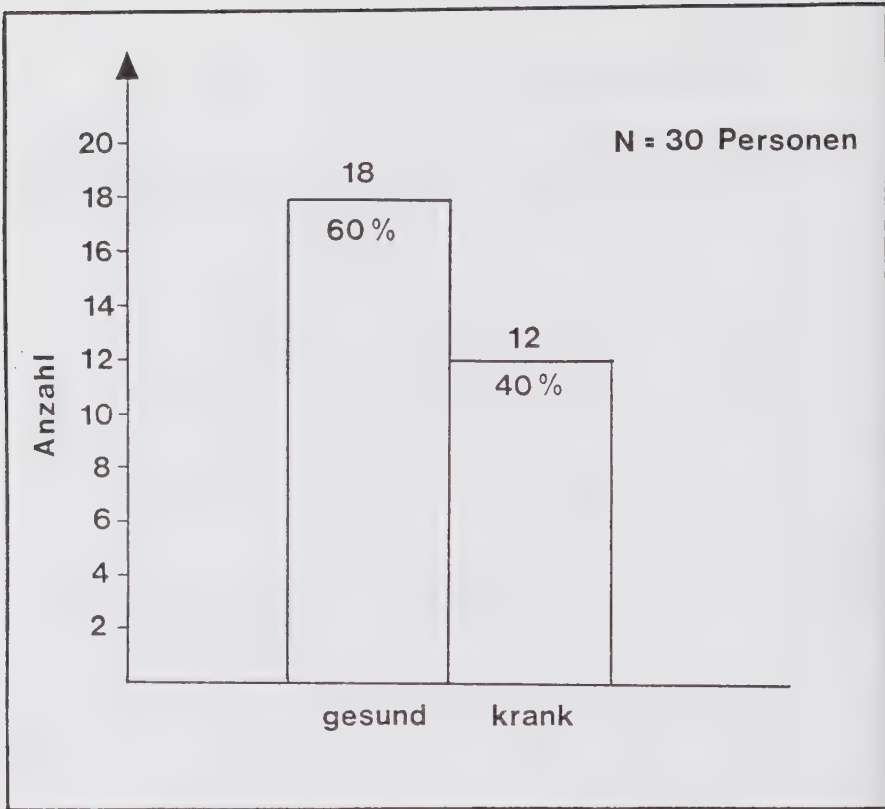


Abb. 27: Einteilung der Versuchspersonen
aufgrund des D-Wertes

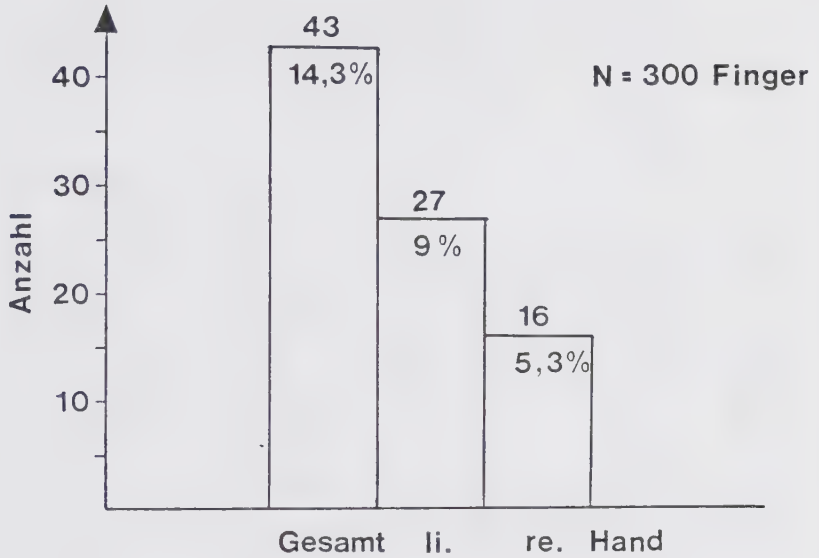


Abb. 28: Verteilung der "kranken" Finger auf linke und rechte Hand

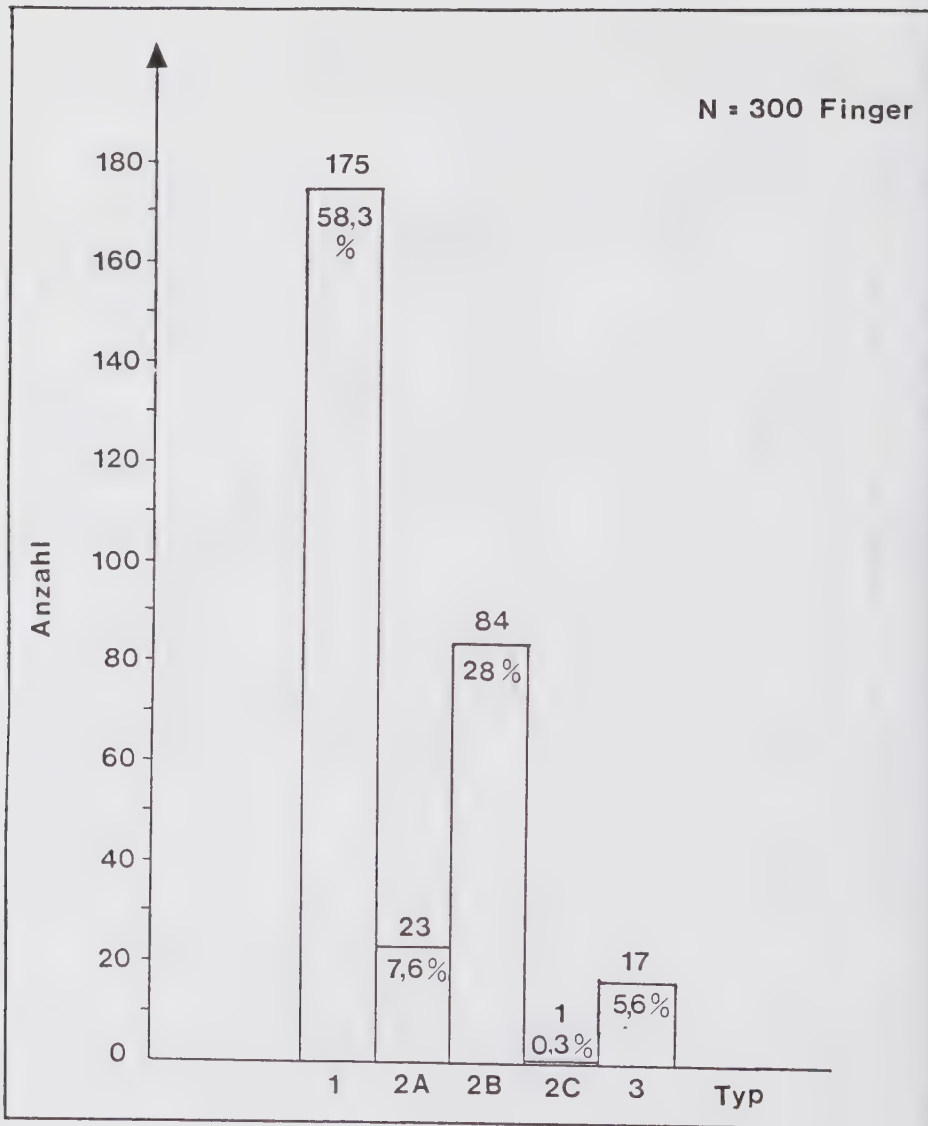


Abb. 29: Fingerverteilung auf Erwärmungstypen

5. DISKUSSION

=====

Bei kritischer Würdigung der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Ergebnisse der Versuche, die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführt wurden, lassen sich verschiedene Aussagen treffen, die im folgenden wiedergegeben werden.

5.1. Laborversuche

Die Versuche mit Drosselung der Blutversorgung eines Fingers an zwei Versuchspersonen lassen erkennen, daß die Temperatur bzw. Erwärmung der Fingerendglieder nach einer Kälteprovokation im Wasserbad im wesentlichen von der Durchblutung und damit vom konvektiven Wärmetransport vom Kern zur Peripherie abhängen.

Besonders durch Versuch 7, bei dem die Drosselung aller Gefäße nach der 10. Minute entfernt wird, wird dieser Sachverhalt deutlich und bestätigt die Angaben, die in der Literatur zu diesem Thema zu finden sind (BRACHTEL und SCHRAMM, 1978). Solange die Drosselung besteht, erfolgt keine nennenswerte Erwärmung, obwohl in dieser Phase die übrigen denkbaren Erwärmungsmöglichkeiten weiter bestehen bleiben (Wärmestrahlung, Wärmeleitung). Ein deutlicher Temperaturanstieg erfolgt erst durch Freigabe des Blutstromes nach Entfernung der Drosselung.

Es erscheint denkbar, daß bei einer bestimmten Versuchsvariation durch geeignete Wahl der Drosselungskriterien, d.h. Öffnen bzw. partielles Öffnen der Drosselung und verschiedene Wahlmöglichkeiten des Öffnungszeitpunktes, alle erdenklichen Typen 1, 2A, 2B, 2C und 3 der Wieder-

erwärmung simuliert werden könnten.

Es läßt sich keine eindeutige Zuordnung derart treffen, daß eine Drosselung von mehr Gefäßen auch zu größeren Einschränkungen der Möglichkeit zur Wiedererwärmung führen muß. Dies zeigt der Versuch 4 deutlich, denn hier werden Werte für Zeiten bis zum Einsetzen der Phase relativ stärkster Erwärmung Z und die Steigung S_{max} dieser Phase erreicht, die teilweise als besser zu beurteilen sind als bei Drosselung nur eines Gefäßes.

Gründe für diese Erscheinung dürften der interindividuell sehr variable Gefäßverlauf bzw. das variable Kaliber der Fingerarterien sein. Darüber hinaus haben sicher auch intraindividuelle zeitliche Schwankungen des Sympathikotonus mit peripherer Vasokonstriktion einen bedeutenden Einfluß. Dadurch ist eine unterschiedliche Breite der kompensatorischen Mehrdurchblutung der nicht verschlossenen Gefäße denkbar.

Von diesem Beispiel abgesehen ist dennoch der Trend zu bestätigen, daß eine Zunahme der Zahl verschlossener Gefäße zu einem stärkeren Schweregrad der Erwärmungsverzögerung führt.

Zusammenfassend kann erklärt werden, daß zwar bei einer Drosselung von 1 oder 2 Fingerarterien wohl noch eine Kompensation der Wiedererwärmung der Fingerendglieder möglich ist, was sich im frühzeitigen Beginn der relativ stärksten Erwärmungsphase Z und durch die doch relativ hohen Werte für die Anstiegssteilheit der Temperaturverlaufskurve S_{max} von 2.2 bis 2.7 °C/min ausdrückt, daß jedoch bei Drosselung von 3 Gefäßen eindeutig die Kompensationsfähigkeit der freien Gefäße überschritten wird und sich daher ein eindeutig "schlechtes" Wiedererwärmungsverhalten ergibt.

Dieser Sachverhalt wird durch Versuch 6 mit komplettem Verschluß sinnfällig unterstrichen.

Die in den Versuchen ermittelten beiden Extremwerte für die maximale Anstiegssteilheit der Wiedererwärmung S_{max} betragen 4.4 bzw. 0.1 °C/min. Dies entspricht einem Verhältnis von ca. 1 : 50 und kann unter Normalbedingungen als Maß für die Gefäßkontraktilität gewertet werden. Hierfür lassen sich in der Literatur bestätigende Hinweise finden (KOEPCHE, 1972).

Trotz jeweils gleicher Versuchsanordnung und Umgebung läßt sich zwischen bei den Versuchspersonen keine allgemeingültige Aussage treffen, daß eine Person bei jedem Versuch eine bessere Wiedererwärmung der Hände zeigt als die andere.

Diese Beobachtung könnte den Schluß ermöglichen, daß ein Einfluß weiterer Faktoren außer Kälte, (z.B. Konstitution, Kondition, durch die Affektlage beeinflusster Sympathikotonus, Mahlzeiten etc.) zum Tragen kommt, wie es ja auch für das VVS postuliert wird (GEMNE, 1982).

5.2. Feldversuche

Da die thermographischen Untersuchungen der Hände, die im Rahmen der Feldversuche durchgeführt wurden, sich nicht auf eine bestimmte Berufsgruppen beschränken, sondern die Versuchspersonen sich aus mehreren unterschiedlichen Berufsgruppen körperlich arbeitender Menschen rekrutierten und an Zahl gering waren, können keine differenzierten bzw. berufsspezifischen Aussagen über die Häufigkeit des Auftretens von Durchblutungsstörungen (Prävalenz) getroffen werden.

Es entsprach jedoch auch nicht der Zielsetzung dieser Arbeit, derartige Aussagen zu treffen, vielmehr sollte ein Verfahren entwickelt werden, das für die Auswertung thermographischer Untersuchungen dienlich sein kann und zusätzlich zu der bloßen Bildinformation der thermographischen Aufnahme weitere Daten zur Beurteilung von Durchblutungsstörungen der Hände liefert.

Weiterhin galt es, die Einsatzfähigkeit dieses Verfahrens in der praktischen Anwendung zu erproben.

Zu den Versuchsergebnissen lassen sich folgende Aussagen treffen :

Im allgemeinen sind zwar schlechte Wiedererwärmungstypen (Abb. 15) mit niedrigen Werten D kombiniert, jedoch trifft dieser Zusammenhang streng genommen nur auf die Durchschnittswerte des Parameters D zu, die für die einzelnen Typen errechnet wurden (Tab. 13).

In Einzelfällen können, besonders im Bereich der Untertypen 2A, 2B und 2C Werte für D in der Größenordnung eines anderen Erwärmungstyps erreicht werden.

Hierbei ist zu berücksichtigen, daß beide Parameter auf unterschiedlichen Wegen bestimmt werden. Der Wert D wird

aus 2 Einzelwerten errechnet, deren Bestimmungskriterien willkürlich festgelegt wurden (Abb. 16), der Erwärmungstyp dagegen wird gewissermaßen "grafisch" ermittelt, je nach Lage der Koordinaten Z und S_{max} zu den festgelegten Erwärmungstypen (Abb. 15), die nach dem Prinzip der minimalen Abweichungsquadrate bestimmt wurde (Bezug zum Koordinatensystem). Beide Bestimmungsverfahren sind daher nicht ohne Einschränkung miteinander vergleichbar, auf keinen Fall gegeneinander austauschbar, obwohl letztlich in beiden Fällen die Auswertungskriterien Z und S_{max} als Ausgangsdaten dienen.

Die Wiedererwärmungstypen 1 und 3, die im eigentlichen Sinn die beiden Erwärmungsqualitäten "gut" und "schlecht" repräsentieren, unterscheiden sich jedoch in ihren durchschnittlichen Werten für D deutlich (Tab 13).

Der für diese Arbeit definierte "Normbereich" des Wertes D ist abhängig vom untersuchten Kollektiv und der gewählten Streubreite bis zur einfachen Standardabweichung, hat also keine Allgemeingültigkeit. Um genaue epidemiologische Aussagen treffen zu können, wird eine Anwendung in weiteren Untersuchungen empfohlen, auch in unterschiedlich vibrationsbelasteten Versuchsgruppen, damit durch die Ermittlung von Normwerten auf der Basis zahlreicher Ergebnisse vergleichende Beurteilungen möglich werden.

Die durch die Computerauswertung der thermographischen Untersuchungen erhaltenen Protokollausdrucke einer jeden Versuchsperson stellen eine Befunderhebung (Fingerstatus) zu dem entsprechenden Untersuchungstermin dar und ermöglichen zum Beispiel im Vergleich zeitlich auseinander liegender Untersuchungen derselben Versuchsperson eine Beurteilung der Progredienz bzw. Besserung einer eventuell vorhandenen Durchblutungsstörung der Hände.

Mit dem Einsatz des beschriebenen Auswertungsverfahrens nach den dargelegten Kriterien ließen sich in der Zukunft im Rahmen epidemiologischer Studien Daten für bestimmte Berufsgruppen gewinnen, die auch zum Vergleich mit den neueren Untersuchungen zur Problematik des VVS in anderen Ländern dienen können (TAYLOR, 1984).

Nach "Eichung" an einem ausreichend großen Kollektiv könnte das vorgeschlagene Verfahren auch für die Beurteilung von Rentenansprüchen etc. im Rahmen der Anerkennung des VVS als Berufskrankheit verwendet werden.

6. ZUSAMMENFASSUNG

=====

Ausgehend von Versuchen mit Drosselung des Blutstroms eines Fingers unter Laborbedingungen an 2 gesunden Versuchspersonen wurde im Rahmen dieser Arbeit ein computergestütztes Auswertungsverfahren entwickelt, das eine Beurteilung des Verhaltens der Wiedererwärmung der Hände nach Kälteprovokation im Wasserbad aufgrund der Parameter "Zeitpunkt des Beginns der relativ stärksten Erwärmungsphase" Z und "maximale Steigung dieser Erwärmungsphase" $S_{\max}$ der Temperaturverlaufskurve ermöglicht.

Diese beiden Kriterien dienten zur Definition verschiedener Erwärmungstypen sowie eines Wertes D , der Aufschluß gibt über die Güte einer Wiedererwärmung.

Das erarbeitete Verfahren erwies sich beim Einsatz in der Praxis zur Auswertung von Feldversuchen an 30 Arbeitern als geeignet, objektive Daten zum Wiedererwärmungsverhalten zu gewinnen.

Es bietet damit die Möglichkeit, in der Zukunft durch breite Anwendung in der Arbeitsmedizin sowohl epidemiologische Untersuchungen durchzuführen und Aussagen über die Prävalenz des VVS in unterschiedlichen Berufsgruppen zu treffen, als auch zur Begutachtung und möglicherweise Anerkennung von Durchblutungsstörungen als BK 2104 notwendige Daten zu liefern.

7. Verzeichnis der Tabellen

	Seite
Tab. 1: mögliche Krankheiten des sekundären RAYNAUD - Syndroms	13
Tab. 2: Stadieneinteilung des VVS mit Symptomen und Beeinträchtigungen	16
Tab. 3: Gerätedaten des IKOTHERM - Systems	30
Tab. 4: Versuche mit Gefäßdrosselung	36
Tab. 5: Altersverteilung der Versuchspersonen im un- tersuchten Kollektiv	37
Tab. 6: Temperaturwerttabelle IKOTHERM	43
Tab. 7: Verlaufsmöglichkeiten der Temperaturkurven in Abhängigkeit von Z und S _{max}	46
Tab. 8: Einteilung des Wiedererwärmungsverhaltens nach Kälteprovokation in Erwärmungstypen	47
Tab. 9: Beispiel einer durch Handauswertung erstellten Datentabelle nach den Abb. 18 - 22	56
Tab. 10: Temperaturwerttabelle des THERMOTOM-Programms	57
Tab. 11: Ergebnisse der Laborversuche	65
Tab. 12: Häufigkeit der Erwärmungstypen	71
Tab. 13: Mittelwerte D der verschiedenen Erwärmungs- typen mit Standardabweichung S	71

8. Verzeichnis der Abbildungen

	Seite
Abb. 1: oberflächlicher Hohlhandbogen	4
Abb. 2: tiefer Hohlhandbogen	5
Abb. 3: Fingerarterien	6
Abb. 4: HAGEN-POUSSEVILLE'sches Strömungsgesetz	9
Abb. 5: Spektrum der elektromagnetischen Wellen	20
Abb. 6: Schnittbild des Aufbauprinzips eines Meßkopfes	22
Abb. 7: Thermographie-System IKOTHERM	29
Abb. 8: Ring zur Gefäßdrosselung	34
Abb. 9: Ring zur Gefäßdrosselung, in situ	35
Abb. 10: Temperaturkurve Finger 1	41
Abb. 11: Temperaturkurve Finger 2	41
Abb. 12: Temperaturkurve Finger 3	42
Abb. 13: Temperaturkurve Finger 4	42
Abb. 14: Temperaturkurve Finger 5	43
Abb. 15: Verteilung der Erwärmungstypen im Koordinatensystem	48
Abb. 16: Berechnungskriterien Wert D	50

Abb. 17: Flußdiagramm des Auswertungsprogramms	52
Abb. 18: grafische Ermittlung von Z und W Finger 1	54
Abb. 19: grafische Ermittlung von Z und W Finger 2	54
Abb. 20: grafische Ermittlung von Z und W Finger 3	55
Abb. 21: grafische Ermittlung von Z und W Finger 4	55
Abb. 22: grafische Ermittlung von Z und W Finger 5	56
Abb. 23: Untersuchungsprotokoll	59
Abb. 24: Verteilung der Ergebnisse der Laborversuche für Smax und Z im Koordinatensystem	66
Abb. 25: Ergebnisse der Laborversuche für Smax der Er- wärmungsphase	67
Abb. 26: Ergebnisse der Laborversuche für Z der Er- wärmungsphase	68
Abb. 27: Einteilung der Versuchspersonen aufgrund des Wertes D	72
Abb. 28: Verteilung der "kranken" Finger auf linke und rechte Hand	73
Abb. 29: Verteilung der Finger auf die Erwärmungstypen	74

9. L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

=====

- AGATE, J.N.: An outbreak of cases of Raynaud's phenomenon of occupational origin. Brit. J. Ind. Med. 6, 144-163 (1949)
- BERGQVIST, D. et al.: Thermography, a noninvasive method for diagnosis of deep venous thrombosis. Archives of Surgery, 112, 600-604 (1977)
- BRACHTEL, R. und P. SCHRAMM: Telethermographie und Infrarotthermometrie in der Diagnostik raynaud-artiger Zustandsbilder. Medizinische Welt 29, 14, (1978)
- BRÜCK, K.: Wärmehaushalt und Temperaturregulation. in: SCHMIDT, R.F. und G. THEWS (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Berlin: Springer, 1985
- CHUDACEK, Z.: Thermography in occupational vasoneurosis. Acta Thermographica 2, 3, 162-165 (1977)
- COOKE, E.D. und M.F. PILCHER: Deep vein thrombosis: pre-clinical diagnosis by thermography. British Journal of Surgery, 61, 971-978 (1974)
- CRISSEY, J.T. et al.: Cutaneous thermography with liquid crystals. J. Invest. Dermatol. 45, 3290 (1965)
- DUPUIS, H.: Mechanische Schwingungen und Stöße. in: SCHMIDTKE, H. (Hrsg.): Lehrbuch der Ergonomie. München: Hanser, 1981
- DUPUIS, H.: Wirkung mechanischer Schwingungen auf das

Hand-Arm-System , Literaturanalyse , Forschungsbericht Nr. 308, Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Unfallforschung Dortmund, 1982

DUPUIS, H. und A. SOWA: 1. Zwischenbericht zum Forschungsprojekt Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen der Hände (Kennzeichen: 01 VD 0122) des Bundesministeriums für Forschung und Technologie und des Hauptverbandes der Gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Mainz, 1983

DUPUIS, H. und A. SOWA: 3. Zwischenbericht zum Forschungsprojekt Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen der Hände (Kennzeichen: 01 VD 0122) des Bundesministeriums für Forschung und Technologie und des Hauptverbandes der Gewerblichen Berufsgenossenschaften e.V., Mainz, 1984

ENGEL, J.-M.: Das thermische Bild der chronischen Polyarthritits (cP). Ärztezeitschrift für Naturheilverfahren 25, 2, 93-98 (1984 a)

ENGEL, J.-M.: Thermographische Verlaufsbeobachtung einer aktivierten Gonarthrose unter Behandlung mit Indometacin-Spray. arthritits und rheuma 6, 53-74 (1984 b)

ERNST, E.: Raynaud-Phänomen, Literaturübersicht neuerer Aspekte. Münch. Med. Wschr. 123, 34, 1265-1268 (1981)

FLESCH, U.: Technik der Thermographie mit Flüssigkristallen in der Medizin. Thermologie Fachberichte, 3, 7-23 (1981)

FLESCH, U. und H. WITT: Die Bedeutung der Thermographie in der Standardisierung der Mammadiagnostik. Tumordia-

agnostik und Therapie, 1, 51-55 (1982)

FLESCH, U.: Technik der Thermographie mit Flüssigkristallen in der Medizin. in: ENGEL, J.M., U. FLESCH und G. STÜTTGEN (Hrsg.): Thermologische Meßmethodik. Baden-Baden: notamed, 1983

FOURNIER, VON, D.: Thermographische Untersuchungen im Rahmen der komplementären Diagnostik von Brusterkrankungen. Thermologie Fachberichte, 3, 51-76 (1981)

GAETHGENS, P.: Mikrozirkulation. in: BUSSE, R. (Hrsg.): Kreislaufphysiologie. Stuttgart: Thieme, 1982

GALLO, L.M. et al.: Thermographie zur Diagnostik subklinischer Varikozelen. Thermologie Fachberichte 5, 10-13 (1983)

GAUTHERIE, M. und C.M. GROS: Breast thermography and cancer risk prediction. CANCER, 45, 1, 51-56 (1980)

GAYDOUL, K.: Die Telethermographie in der Diagnostik des Mammakarzinoms. Fortschritte der Medizin, 96, 24, 1285-1288 (1978)

GEMNE, G.: Pathophysiology and multifactorial etiology of acquired vasospastic disease (Raynaud syndrome) in vibration-exposed workers. Scand. j. work environ. health 8, 243-249 (1982)

GESER, M. und P. BÖSIGER: Modellmäßige Analyse dynamischer Handthermogramme zur Erfassung vasospastischer Erkrankungen. Thermologie Fachberichte, 5, 32-36 (1983)

HARTMANN, M. und J. KUNZE: Telethermographie beim malignen

- Melanom: Möglichkeiten zur Differenzierung in Diagnose und Therapie. Thermologie Fachberichte, 1, 26-27 (1980)
- HEIDRICH, H.: Primäres und sekundäres Raynaud-Syndrom, Definition, Ätiologie, Klinik und Therapie. Deutsch. Med. J. 23, 375 (1972)
- HENDERSON, H.P. et al.: After exercise thermography for predicting postoperative deep vein thrombosis. British Medical Journal 1, 1020-1022 (1978)
- HENSEL, H.: Temperaturregulation. in: KEIDEL, W.D. (Hrsg.): Kurzgefaßtes Lehrbuch der Physiologie. Stuttgart: Thieme, 1985
- ISO/DIS 5349: Guide for the measurement and the assessment of human exposure to vibration transmitted to the hand. Annex A (1984)
- JANSEN, G.: Effects of noise on physiological state. in: WARD, W.D.; FRICK, J.E. (eds.): Proceedings of conference on noise as a public health hazard. American Speech and Hearing Assoc., Report No. 4, 69-78, (1969)
- JECHT, E.W.: Erfahrungen mit der Thermographie in der Varikozelen-Diagnostik. Thermologie Fachberichte, 3, 91-92 (1981)
- JENSEN, C. et al.: The Role of Contact Thermography in the Diagnosis of Deep Venous Thrombosis. European Journal of Radiology, 3, 2, 99-102, (1983)
- JOHNSEN, A.O.: Thermographie zur Früherkennung von Brust-

krebs. krebs-medizin, 3, (1982)

KAPPERT, A.: Lehrbuch und Atlas der Angiologie. Bern: Huber, 1985

KENNER, TH.: Durchblutungsgrößen und spezielle Regulationsmechanismen einzelner Stromgebiete. in: BUSSE, R. (Hrsg.): Kreislaufphysiologie. Stuttgart: Thieme, 1982

KIRSCH, K.: Physiologie der Hautoberflächentemperatur. in: ENGEL, J.M., U. FLESCH und G. STÜTTGEN (Hrsg.): Thermologische Meßmethodik. Baden-Baden: notamed, 1983

KLOSTERKÜTTER, W.: Kriterien für vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen bei beruflichen Tätigkeiten. Ergon. Asp. d. Arb.med. Koll. München, 191-199 (1975)

KNIEB, H.: Vibrationsbedingte Durchblutungsstörungen der Hände bei Gußputzern. Moderne Unfallverhütung 25, 97-102 (1981)

KOEPCHEN, H.P.: Kreislaufsteuerung im Dienst der Temperaturregulation. in: GAUER, O.H., K. KRAMER und R. JUNG (Hrsg.): Physiologie des Menschen Band 3: Herz und Kreislauf. München: Urban und Schwarzenberg, 1972

KOPSA, H. et al.: Plattenthermographische Befunde bei chronisch dialysierten und nierentransplantierten Patienten. Thermologie Fachberichte, 3, 109-110 (1981)

KUBISTA, E. und H. KUCERA: Vorsorgemedizin beim Mammakarzinom. Gynäkologische Rundschau, 20, 2, 110-116 (1980)

LAARMANN, A.: Berufskrankheiten nach mechanischen Ein-

- wirkungen. in: Die chirurgischen Berufskrankheiten, Stuttgart: Enke, 1977
- LAMPE, E.W.: Die chirurgische Anatomie der Hand. Clinical Symposia 21, 3 (1969)
- LECHI, G.M.: The role of the thermal infrared in the framework of remote sensing techniques applied to the environment quality control. Acta Thermographica 2, 1, (1977)
- LORIGA, G.: Il lavor coi matrelli pneumatici. Bool. insp. lavoro 2, 35 (1911)
- MÄHRLEIN, W. et al.: Thermographisch kontrollierte Therapie vibrationsbedingter peripherer Durchblutungsstörungen. Zeitschr. Inn. Med. 29, 17, 697-699 (1974)
- MITCHELL, D.: Emissivity and transmittance of excised human skin in its thermal emission wave band. Journal of Appl. Physiol. 23, 390 (1967)
- NETTER, F.H.: Die chirurgische Anatomie der Hand. Clinical Symposia 21, 3 (1969)
- OSTER, K.H. et al.: Intraoperative Myocardthermographie. in: ENGEL, J.M., U. FLESC und G. STÜTTGEN (Hrsg.): Thermologische Meßmethodik. Baden-Baden: notamed, 1983
- POCHACZEVSKEY, R. et al.: Liquid crystal thermography of the spine and extremities. Journal of Neurosurg. 56, 386-395, (1982)
- PYYKKÖ, I.: The prevalence and symptoms of traumatic vaso-

pastic disease among lumberjacks in Finland, a field study. Work Environ. Hlth. 11, 118-131 (1974)

PYYKKÖ, I. et al.: A longitudinal study of the vibration syndrome in finnish forestry workers. in: BRAMMER, A.J. und W. TAYLOR (Hrsg.): Vibration effects on the hand and arm in industry. New York: Wiley & Sons, 1982, 157-168

RUSCH, D.: Über den bestgeeigneten Wellenlängenbereich für medizinische Infrarot-Thermographie. Thermologie Fachberichte 5 (1983)

SCHMID-SCHÖNBEIN, H.: Physiologie und Pathophysiologie der Mikrozirkulation sowie Konsequenzen für deren pharmakologische Behandlung. in: MESSMER, K (Hrsg.): Mikrozirkulation und arterielle Verschlusskrankheiten - Fortschritte in Diagnose und Therapie. Basel: Karger, 1981

SCHMIDT, R.F.: Thermoreception in: SCHMIDT, R.F. und G. THEWS (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Berlin: Springer, 1985

SCHULTE, M.: Arterielle Durchblutungsstörungen. in: GROSS, R. und P. SCHÖLMERICH (Hrsg.): Lehrbuch der Inneren Medizin. Stuttgart: Schattauer, 1982

SCHWARZLOSE, H.: Vorkommen von Hand-Arm-Vibrationen bei beruflichen Tätigkeiten. Z. Arb.wiss. 35, 4, 227-234 (1981)

SHEPHERD, J.T.: Regulation der peripheren Durchblutung beim Menschen. Folia angiologica supplementa VII, 15 - 31, (1980)

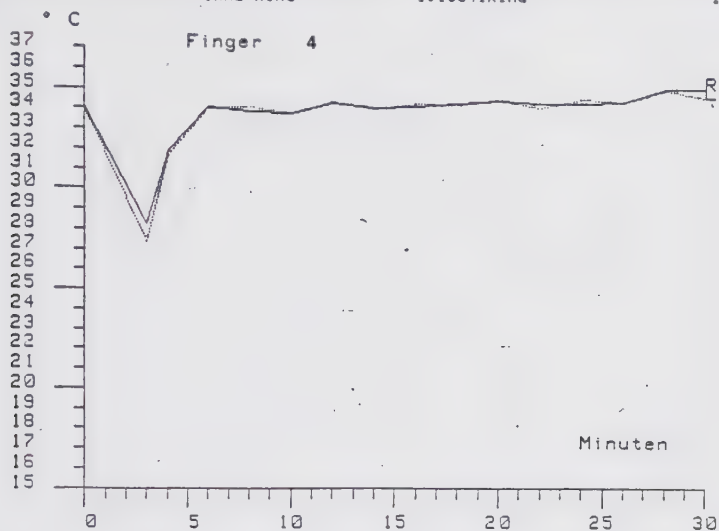
- SILVERTSSON, R. und B. LJUNG: Vibration-induced changes in vascular tone. Acta chir. scand. suppl. 465, 20-22 (1976)
- SOWA, A.: Thermographisches Temperaturmeßverfahren bei Gesicht- und Schädeltumor. Thermologie Fachberichte, 1, 44-45 (1980)
- SPECHT, H.: Thermografie - Kalibrierte Temperaturbilder für Labor und Prüffeld. Sonderdruck aus Funkschau Heft 25/26, Franzis-Verlag, München 1981
- STARCK, J.: Characteristics of vibration, hand grip force, and hearing loss in vibration syndrome. Publications of the University of Kuopio, Kuopio 1984
- TAYLOR, W. et al.: Raynauds phenomenon in forestry chain saw operators. in: TAYLOR, W. (Hrsg.): The vibration syndrome. London: Acad. Press, 1974
- TAYLOR, W. et al.: A longitudinal study of Raynaud s phenomenon in chain saw operators. in: Proc. Int. Occup. Hand-Arm Vibr. Conf. Cincinnati, 69-76 (1977)
- TAYLOR, W.: A clinical assessment of seventy-eight cases of the hand-arm vibration syndrome. Paper presented at the United Kingdom Informal Group Meeting on Human Response to Vibration held at Heriot-Watt University, Edinburgh, September 1984
- WALTER, R.: Das vibrationsbedingte vasospastische Syndrom im Fachschrifttum. Medizinische Dissertation, Mainz 1984
- WEILER, E.M.: Dynamische Telethermographie als Untersu-

chungstechnik zur Beurteilung der Einheilung von Vollhauttransplantaten. Thermologie Fachberichte, 5, 38-40 (1983)

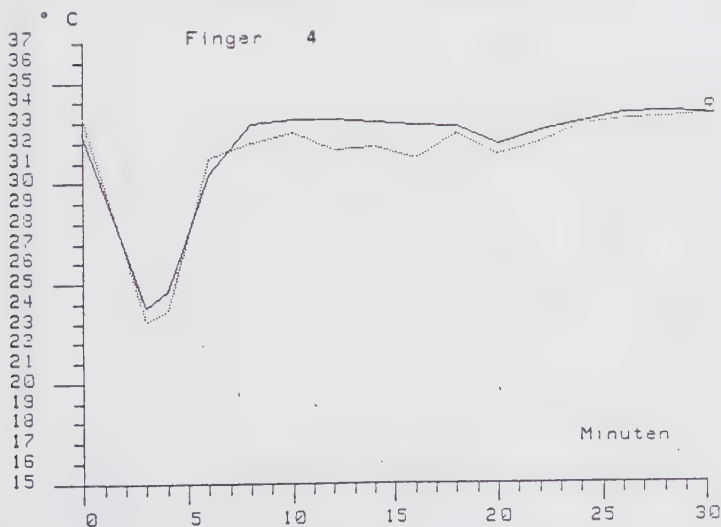
WITZLEB, E.: Funktionen des Gefäßsystems. in: SCHMIDT, R.F.; THEWS, G. (Hrsg.): Physiologie des Menschen. Berlin: Springer, 1985

WOELKE-SEIDL, E.: Epidemiologische Untersuchungen zum vibrationsbedingten vasospastischen Syndrom bei Motorsägeführern. Medizinische Dissertation, Mainz 1982

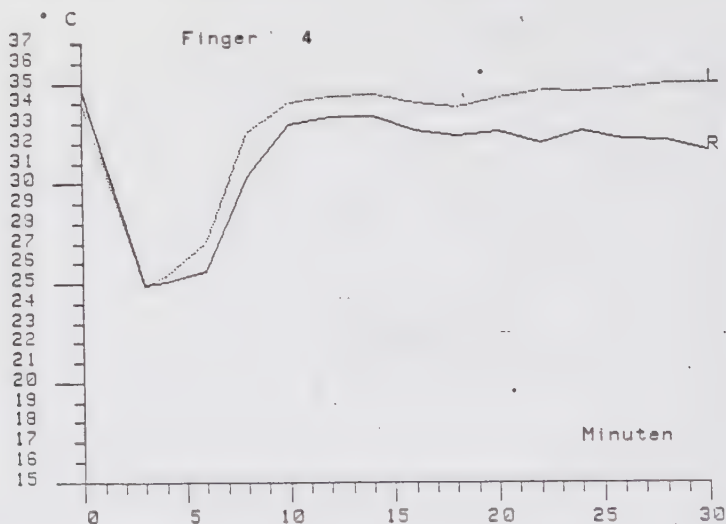
A n l a g e n



Temperaturkurve Versuch 1, Versuchsperson I



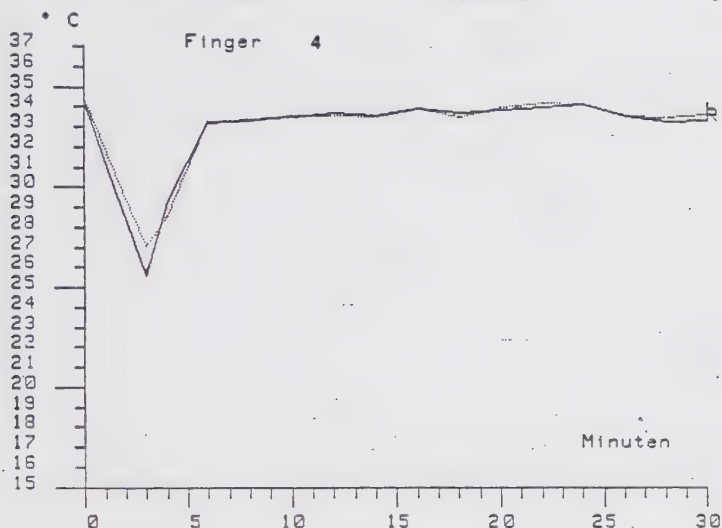
Temperaturkurve Versuch 1, Versuchsperson II



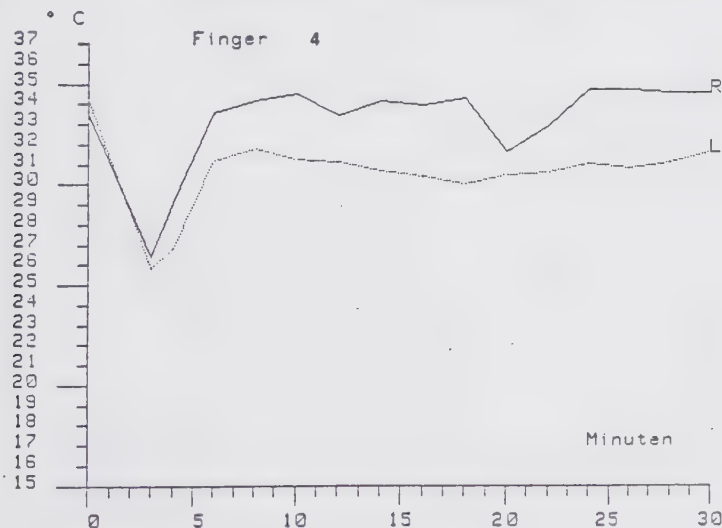
Temperaturkurve Versuch 2, Versuchsperson I



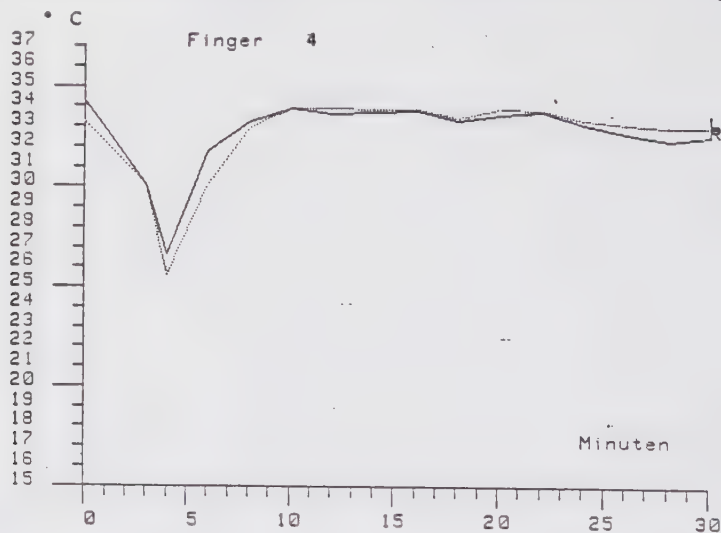
Temperaturkurve Versuch 2, Versuchsperson II



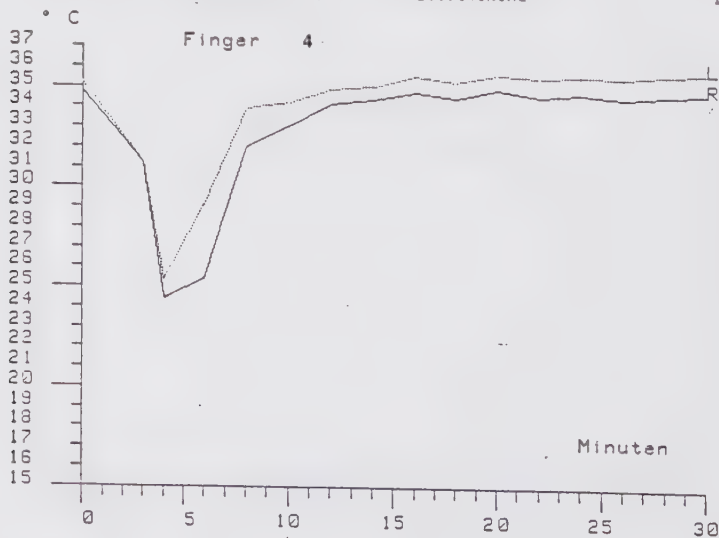
Temperaturkurve Versuch 3, Versuchsperson I



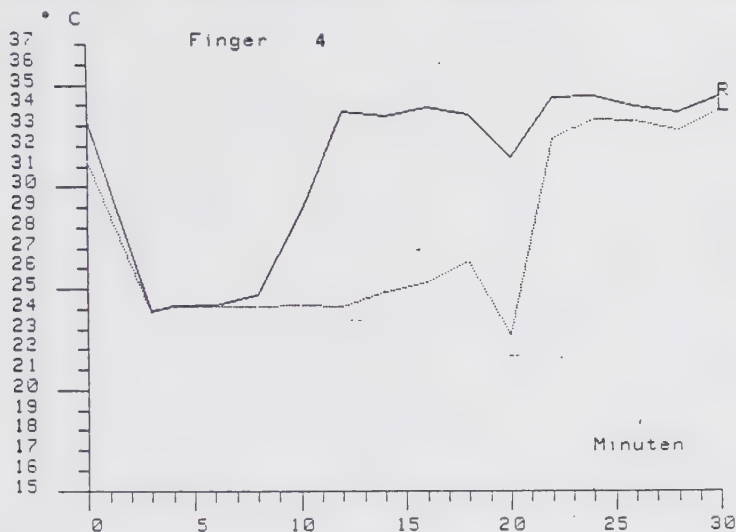
Temperaturkurve Versuch 3, Versuchsperson II



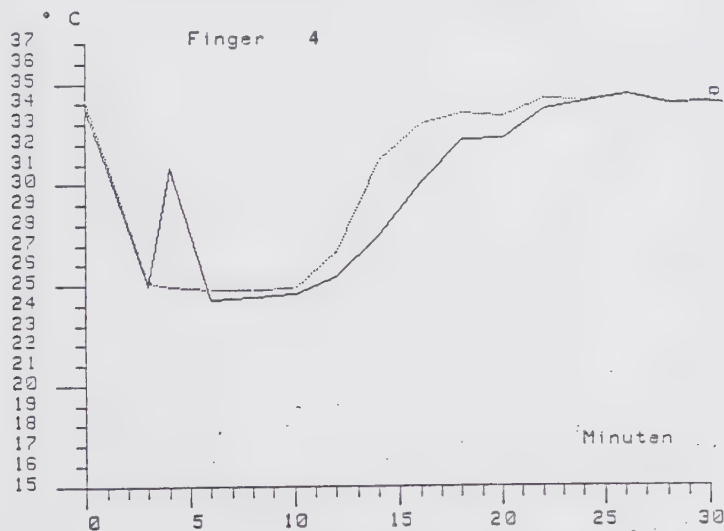
Temperaturkurve Versuch 4, Versuchsperson I



Temperaturkurve Versuch 4, Versuchsperson II



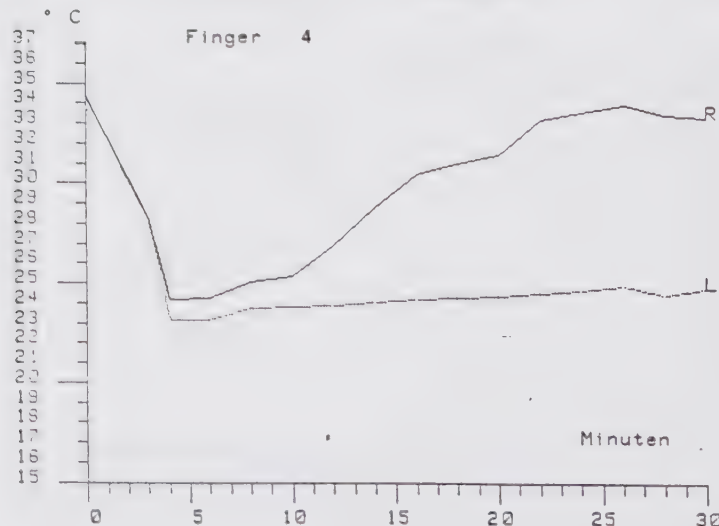
Temperaturkurve Versuch 5, Versuchsperson I



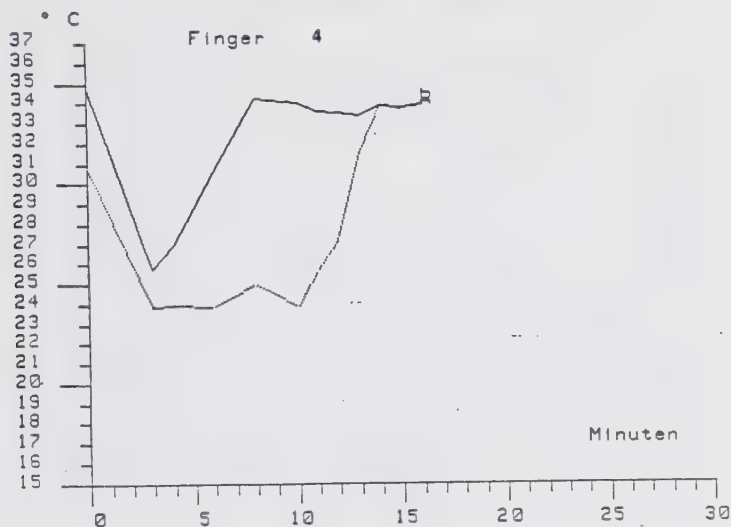
Temperaturkurve Versuch 5, Versuchsperson II



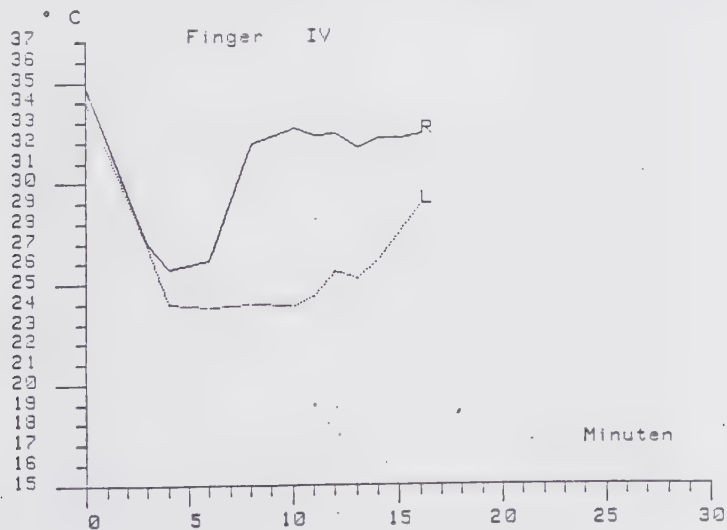
Temperaturkurve Versuch 6, Versuchsperson I



Temperaturkurve Versuch 6, Versuchsperson II



Temperaturkurve Versuch 7, Versuchsperson I



Temperaturkurve Versuch 7, Versuchsperson II

5

```

10876 PRINT"LEIDER EXISTIEREN DIE DATEN AUF DIESER DISKETTE NICHT"
10877 CLOSE2 FOR E6=1 TO 1000 NEXT E6 GOTO 11010
10880 FOR R6=1 TO 10
10885 FOR I7=1 TO 16
10890 INPUT#2,E4(E7,R6)
108910 NEXT I7
108920 NEXT R6
108930 CLOSE2
108940 GOTO11000
108980 OPEN2 S:\C\GT1+" SUR"
108982 INPUT#15,EN,EMF,E#1,E1,ES
108984 IF EN=0 THEN CLOSE2 GOTO11010
108986 CLOSE2
108988 OPEN5 S:\C\H5+" "+GT1
108990 CLOSE5
11010 REM DYNAMISCHE TABELLE EINLESEN
11020 FOR I5=1 TO 10
11021 GOSUB 20000
11025 PRINT"D"
11027 PRINT"GEBEN SIE TEMPERATURWERTE VON IHN,RAUS, DER THERMOGAMMEN EIN"
11030 IF I5=5 THEN 11050
11040 ON I5 GOTO 12000,12010,12020,12030,12040
11050 ON I5 GOTO 1,1 1,1 1,12050,12060,12070,12080,12090
12000 PRINT"FINGER L1" I7=5 GOTO12100
12010 PRINT"FINGER R1" I7=6 GOTO12100
12020 PRINT"FINGER L11" I7=4 GOTO12100
12030 PRINT"FINGER R11" I7=7 GOTO12100
12040 PRINT"FINGER L111" I7=3 GOTO12100
12050 PRINT"FINGER R111" I7=8 GOTO12100
12060 PRINT"FINGER L1111" I7=2 GOTO12100
12070 PRINT"FINGER R1111" I7=1 GOTO12100
12080 PRINT"FINGER L11111" I7=10 GOTO12100
12090 PRINT"FINGER R11111" I7=9 GOTO12100
12100 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12110 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12115 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12120 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12130 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12140 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12150 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12160 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12170 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12180 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12190 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12200 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12210 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12220 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12230 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12240 INPUT"ZEIT " E4(I, I7)
12245 PRINT"WOLLEN SIE DIE EINGABEN BERICHTIGEN ? Y/N
12246 INPUT E54
12247 IF E54="Y" THEN 11025
12248 IF E54="N" THEN 12250
12249 GOTO 12246
12250 NEXT I5
12252 OPEN2 S:\C\GT1+" SUR"
12254 GOSUB 21000
12256 FOR I7=1 TO 10
12258 FOR R6=1 TO 16
12260 PRINT#2 E4(I, R6)
12262 NEXT R6
12264 NEXT I7
12266 CLOSE2
12300 REM STEIGUNG
12310 FOR I9=1 TO 10
12320 FOR I2=1 TO 14
12330 IF I2=1 THEN K1=1 GOTO 12350
12340 I1=2
12350 FOR I3=1 TO 18: E4(I2+2, I3)=E4(I2+1, I3)+0.1+0.1246 REM 1.141 BELT : TER 10TH
12360 NEXT I3
12370 NEXT I2
12380 REM SUCHE NACH ERU. PHASE
12400 FOR E8=1 TO 10
12400 G9=1
12410 FOR E9=1 TO 14
12420 IF E7(E, I1) THEN 15120
12430 IF G9=2 THEN 12440
12440 G9=G9+1: H1=E9 REM ERSTE ELEMENT

```

```

15070 GOTO 15100 REM FLAG
15080 GOTO 15110
15090 IF E5=ER.E8=008 THEN 15100
15100 GOTO E5=ER.E8 REM AKTUELLE SMAC
15110 H1=ER REM AKTUELLE ZEIT FUER SMAC
15120 NEXT E5
15130 REM SUCHE NACH LINI 5
15140 FOR H5=H1 TO 1 STEP -1
15145 ET=H5=1
15147 IF H5=1 THEN H5=1 GOTO 15180
15150 IF E5=H5.E8=0 THEN 15170
15160 H5=H5+1 GOTO 15180 REM LINIE GRENZE
15170 NEXT H5
15180 FOR H4=H1+1 TO 14
15190 IF H4=15 THEN H5=H4-1 GOTO 15210
15195 ET=H4=1
15197 IF H4=14 THEN 15200
15199 IF E5=H4.E8=0 THEN 15210
15200 H5=H4+1 GOTO 15220 REM RECHTE GRENZE
15210 NEXT H4
15220 REM DAEUF DER ERW.
15230 H2=H5=H5
15235 IF H2=1 THEN L2=1 GOTO 15240
15237 L2=2
15240 IF H2=L2 THEN 15240
15250 H2=H2+30
15260 IF H2=30 THEN 15290
15270 J1=H2 REM ANFANG DER ART. ERW PHASE
15280 J2=000 REM AKTUELLE SMAC
15290 H2=H2
15295 REM PRUEFUNG OB ALLE ET=0
15300 FOR J3=1 TO 14
15310 IF ET=J3=1 THEN 15330
15320 GOTO 15020 REM SIND NOCH ET=0
15330 NEXT J3
15340 REM END PHASE UND ZEIT 0
15350 L4.E8=000 REM SMAC END
15365 IF J1=0 THEN L4=ER=30 GOTO 15180
15370 L4.E8=J1+1+02 REM END ZEIT
15380 ET=1=0 ET=2=0 ET=3=0 ET=4=0 ET=5=0 ET=6=0 ET=7=0 ET=8=0 ET=9=0
15390 ET=10=0 ET=11=0 ET=12=0 ET=13=0 ET=14=0 H8=0 J1=0 J2=0
15400 NE T.E8
15410 GOSUB 20000
15420 GOTO 150
15430 REM LINE 111: J1=H2
15440 FOR E1=1
15450 FOR E1=16+2
15460 FOR E1=14+16+2
15470 FOR E1=12 FOR E1=14.E8
15480 FOR E1=17
15490 FOR T=1 TO 500
15500 NEXT T
15510 FOR E1=1 FOR E1=14 FOR E1=0
15520 RETURN
15530 REM ENDE DES UNTERPROGRAMMES AKUSTISIGNAL
15540 REM UNTERPROGRAMM 2
15550 REM UEBERFRAGUNGSGEHTPOLLE
15560 INPUT#15 E1 E2 E3 E4
15570 IF E1=2 THEN RETURN
15580 PRINT"ERROR ON DISK"
15590 PRINT"ERR E1 E2"
15600 CLOSE#15
15610 END
15620 REM UNTERPROGRAMM 3
15630 REM PROBANDDATEN EINGEBEN
15640 PRINT"Q" GOSUB 20000
15650 PRINT"GEBEN SIE PROBANDDATEN EIN"
15660 INPUT"U.F." A04
15670 INPUT"NAME" A14
15680 INPUT"VSNAME" A24
15690 INPUT"DATUM DER UNTERSUCHUNG" A34
15700 A5=A14
15710 G2=A14+A24+"DYNDHT"
15720 G3=LEFT$(G2,15)
15730 GOSUB 20000
15740 PRINT"PROBANDENDATEN SIND UEBERNOMMEN WORDEN" PRINT""
15750 RETURN
15760 REM ENDE DES UNTERPROGRAMMES 3
15770 REM GRAPHIC+AUSSDRUCK

```

```

23004 GOSUB 21000
23010 Y4:=CHR$(27)+CHR$(16)+CHR$(0)+CHR$(88)
23020 N4:=CHR$(27)+CHR$(16)+CHR$(0)+CHR$(28)
23030 FOR B4=1 TO 16
23040 G4:=CHR$(248) REM KURZE STRICH
23050 F4:=CHR$(255) REM LANGE STRICH
23060 D4:=CHR$(192) REM RÖHSE
23070 C4:=CHR$(200)+CHR$(212) REM MUSTER
23080 J4:=CHR$(142)+CHR$(255)+CHR$(255)+CHR$(143) REM PFIL
23090 M:=INT(2.35+79+2)
23100 L:=INT(2.35+36+2)
23110 FOR I2=1 TO 5
23120 FOR I3=1 TO 48
23130 E4:=E4+D4
23140 NEXT I3
23150 IF I2=5 THEN E4=F4+E4+F4 GOTO 23160
23160 E4=E4+G4
23170 NEXT I2
23180 FOR I1=1 TO 5
23190 FOR I4=1 TO 23
23200 F4=F4+G4
23210 NEXT I4
23220 IF I1=5 THEN F4=F4+E4+F4 GOTO 23250
23230 F4=F4+G4
23240 NEXT I1
23250 D4:=CHR$(190)+CHR$(209)+CHR$(197)+CHR$(190)
23260 J4:=CHR$(198)+CHR$(205)+CHR$(201)+CHR$(198)
23270 N4:=CHR$(190)+CHR$(140)+CHR$(250)+CHR$(197)
23280 M4:=CHR$(190)+CHR$(201)+CHR$(201)+CHR$(140)
23290 F4:=CHR$(192)+CHR$(201)+CHR$(201)+CHR$(182)
23300 M4:=CHR$(198)+CHR$(140)+CHR$(190)+CHR$(255)
23310 E4:=CHR$(198)
23320 J4:=CHR$(26)+CHR$(16)+G4
23330 Y4:=Y4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4
23340 Y4:=Y4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4+J4
23350 Y4:=CHR$(16)+Y4+Y4
23360 REM TYPEBESTIMMUNG
23370 FOR E2=1 TO 10
23380 FOR E4=1 TO 5
23390 D4:=30F+D4-E4-E4-1+J4+J4-E4-E4-E4-E4-E4-E4
23400 IF E4=1 THEN D4=D1 D4=E4
23410 IF D4=D1 THEN 23430
23420 GOTO 23430
23430 D4=E4
23440 NEXT E4
23450 D5:=E2+INT(D4+100+.100) REM MIN ABM.
23460 D6:=E2+D4 REM TYP NR.
23470 IF D4=1 THEN J54+E4:="1" GOTO 23490
23480 IF D4=2 THEN J54+E4:="2" GOTO 23490
23490 IF D4=3 THEN J54+E4:="3" GOTO 23490
23500 IF D4=4 THEN J54+E4:="4" GOTO 23490
23510 IF D4=5 THEN J54+E4:="5"
23520 NEXT E2
23530 FOR A=1 TO 10
23540 PRINT"FIN" A "TYP" J54 A "MINABM" D5+H
23550 NEXT A
23600 REM BERECHNUNG D
23610 FOR D4=1 TO 10
23620 REM W1 ANF.DER EPW.DEIT
23630 IF D6+D4<=2 THEN W1+D4:=50 GOTO 24200
23640 IF D6+D4<=30 THEN W1+D4:=-1.78+26*(D4+5)/5 GOTO 24200
23650 IF 30<D6+D4 THEN W1+D4:=0
23660 REM W2 STEIG.
23670 IF C4+D4<=0.5 THEN W2+D4:=0 GOTO 24240
23680 IF C4+D4<=10 THEN W2+D4:=5.26+C4+D4-2.6 GOTO 24240
23690 IF C4+D4<=10 THEN W2+D4:=50
23700 REM D
23710 D=D4+.1 D4:=W2+D4

```

```

24260 T=D4*(INT(2.31+D4)+2)
24270 L=LEFT$(E,L-1)
24300 N=F1GHT+E4/20000-1)
24340 F1=MID$(E,L,M-1)
24360 F1=F1+F1*24
24410 G=LEFT$(F1,T/24)+2)
24430 U=F1GHT+F1/20000+24+2)
24450 W=F1F1+F1*24
24460 D=CHRF(8)+W
24350 ON D4 GOTO 24360,24370,24380,24390,24400,24410,24420,24430,24440,24450
24260 Y4="FINGER LV" GOTO 24460
24370 Y4="FINGER LIV" GOTO 24460
24380 Y4="FINGER LII" GOTO 24460
24390 Y4="FINGER LII" GOTO 24460
24400 Y4="FINGER LI" GOTO 24460
24410 Y4="FINGER RI" GOTO 24460
24420 Y4="FINGER RII" GOTO 24460
24430 Y4="FINGER RII" GOTO 24460
24440 Y4="FINGER RI" GOTO 24460
24450 Y4="FINGER RV"
24460 Y5=D4*(CHRF(15)+Y4+Y6+2)
24470 D=STR$(INT(D4*0.5))
24475 D1=D4+STR$(D4)
24480 IF D4=5 THEN D2=D4+CHRF(15)+ D="D1+" TYP "+J5*(D4) GOTO 24490
24485 D4=D4+CHRF(15)+ D="D2+" TYP "+J5*(D4)
24490 IF D4=50 THEN 24510
24500 Y5=D4*(CHRF(15)+Y6+Y3) GOTO 24520
24510 Y5=D4*(CHRF(15)+DAUEN)+CHRF(8)+Y6+Y3
24520 NEXT D4
25000 REM DRUM AUSSCH
25010 OPEN "C:\1 FORQ=1 TO 1 PRINT#13,CHR$(7) NEXT Q3 CLOSE 13
25020 OPEN "C:\4 PRINT#12,CHR$(15)
25030 FOR Q1=1 TO 48 PRINT#12,"" NEXT Q1
25040 Q5="
25045 PRINT#12, Q5;"THERMOGRAPHISCH ERMITTELTE EINNAERUNG DER FINGERENDGLEDER"
25050 PRINT#12,"" PRINT#12,"" PRINT#12,""
25060 PRINT#12,"NAME" " A6#
25070 PRINT#12,"NAME" " A1#
25075 PRINT#12,"VORNAME" " A2#
25075 PRINT#12,"DATUM DER"
25075 PRINT#12,"UNTERSUCHUNG" " A6#
25080 PRINT#12,"" PRINT#12,"" PRINT#12,""
25090 FOR Q2=1 TO 10
25100 PRINT#12,Y5+Q2,1, Q2+Q2)
25110 PRINT#12,Y5+Q2,2
25120 IF Q2=5 THEN PRINT#12,"" PRINT#12,"" PRINT#12,"" GOTO 25140
25130 PRINT#12,"" PRINT#12,""
25140 NEXT Q2
25150 Y7="BITTE WIEDERHOLEN SIE DIESEN TEST BEI EINER RAUMTEMPERATUR VON 22-"
25160 Y8="24 GRAD CELSIUS"
25170 Y9="BITTE WIEDERHOLEN SIE DIESEN TEST BEI EINER Wassertemperatur von "
25180 Q9="15 GRAD CELSIUS UND EINER EXPOSITIONSZEIT VON 30 SEKUNDEN"
25190 A6#="BEI DIESER PERSON WIRD EINE AUSWERTUNG VON ALLEN STELLEN "
25200 A6#="DER HANDOBERFLAECHE EMPFOHLEN"
25210 A6#="NORMALE GEFASSENATION ALLER FINGER"
25220 PRINT#12,CHR$(15)
25230 FOR Q4=1 TO 10
25240 IF T/40>L THEN Q5=1 GOTO 25270
25250 NEXT Q4
25260 FOR Q6=1 TO 10
25270 IF T/40>L THEN Q7=1 GOTO 25300
25280 NEXT Q6
25290 IF Q5=0 THEN 25320
25300 IF Q7=0 THEN 25320
25310 GOTO 25330
25320 GOSUB 25000
25330 PRINT"BITTE UEBERPRUEFEN SIE DIE RAUMTEMPERATUR WAERHEND DES TESTES."
25340 PRINT"LAG DIE TEMPERATUR IMMER ZWISCHEN 22-24 GRAD CELSIUS?-J,N"
25350 INPUT B4
25360 IF B4="J" THEN 25390
25370 IF B4="N" THEN 25360
25380 GOTO 25360
25390 NEXT Q6 GOTO 25090
25400 PRINT#12,Y7,Y8,GOTO 25400
25410 PRINT#12,A6 GOTO 25400
25420 PRINT#12,A6 A6 GOTO 25400
25430 PRINT#12,Y9 Q9
25440 F1="D DYNAMISCHER PARAMETER, DER VON DER ZEIT DES BEGINNS DER "

```

```

25410 F2#="SCHUELLEN          ERWARMUNG UND DEREN MAXIMALEM "
25420 F3#="TEMPERATURANSTIEG ABHANGIG IST"
25430 F4#="TYP 1B ERWARMUNG NACH KURZER ZEIT MIT SCHWACHEM TEMPERATURANSTIEG "
25440 F5#="CAR. DORSA-          LES UND A. PALMARIS DEXTRA GEDROSSELT)"
25450 F6#="TYP 2A ERWARMUNG NACH MITTLERER ZEIT MIT MITTLEREM TEMPERATURANSTIEG "
25460 F7#="EG (A. DOR-          SALIS DEXTRA UND A. PALMARIS SINISTRA GEDROSSELT)"
25461 J7#=")"
25470 F8#="TYP 2C ERWARMUNG NACH LANGER ZEIT MIT STARKEM TEMPERATURANSTIEG "
25480 F9#="A. DORSALIS          SINISTRA UND A. PALMARIS DEXTRA GEDROSSELT)"
25490 G3#="TYP 3 ERWARMUNG NACH LANGER ZEIT MIT SCHWACHEM TEMPERATURANSTIEG "
25491 L1#="ALLE FIN-          GERARTERIEN GEDROSSELT)"
25500 G4#="TYP 1 ERWARMUNG NACH KURZER ZEIT MIT STARKEM TEMPERATURANSTIEG "
25501 J6#="ALLE FINGER-          ARTERIEN FREI)"
25502 PRINT#12 "" PRINT#12 "." PRINT#12 "" PRINT#12 "."
25504 PRINT#12 "LEGENDE "
25506 PRINT#12 "" PRINT#12 ""
25510 PRINT#12 F1#;F2#;F3#
25520 PRINT#12 G4#;J6#
25530 PRINT#12 F6#;F7#;J7#
25540 PRINT#12 F4#;F5#
25550 PRINT#12 F8#;F9#
25560 PRINT#12 G3#;L1#
25565 B#="" REM LEERT KETTENZEICHEN VON NORMIEREICH
25570 CLOSE12
25580 RETURN
25590 REM ENDE DES UNTERPROGRAMMES GRAPHIC+AUDIOPIC

```

READY.

READY.

Ich danke Herrn Prof. Dr. H. Dupuis für die Überlassung des Themas und die Betreuung dieser Arbeit.

Bei Herrn Prof. Dr. H. Konietzko bedanke ich mich für die Erstellung des 2. Gutachtens.

Besonderer Dank gebührt Herrn Dr.rer.nat. Anton Sowa, der mir in freundschaftlicher Art und Weise mit Rat und Tat bei der Bewältigung von Problemen zur Seite stand und mir vor allem beim Umgang mit Computern und Programmen stets ein hilfsbereiter Ansprechpartner war.

Uwe Morlang
Alt-Langenhain 3
6238 Hofheim 6
Tel.: 06192/8712

L E B E N S L A U F

Name: Uwe Morlang

Geburtstag: 13.7.1959

Geburtsort: Bad Wildungen

Eltern: Adolf Morlang (Bankkaufmann)
Marli Morlang, geb. Wilhelmi (Hausfrau)

Familienstand: verheiratet

Religion: evangelisch/lutherisch

Schul Ausbildung: 1966 bis 1969 Grundschule
1969 bis 1978 Gymnasium

Schulabschluß: Abitur 13.6.1978 Gymnasium Hofheim a.Ts.

Grundwehrdienst: Juli 1978 bis September 1979
Fernmeldebataillon Daun/Eifel

Studium: ab Wintersemester 1979/80 an der
Johannes-Gutenberg-Universität Mainz
25. 8.1981 Physikum
26. 8.1982 Erstes Staatsexamen
24. 8.1984 Zweites Staatsexamen
30.10.1985 Drittes Staatsexamen

Studienabschluß: 14.11.1985 Approbation als Arzt

Berufstätigkeit: seit 16.1.1986 als Assistenzarzt
in der Chirurgischen Klinik der
Städtischen Kliniken Darmstadt

Hofheim, 1986

